



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISIS AKSELERASI UMUR ISOLATOR POLIMER 20
KV AKIBAT PENGARUH KONTAMINAN BERDASARKAN
PENGUKURAN ARUS BOCOR**

Anisa Kusumaningrum
NRP 2213100121

Dosen Pembimbing
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Daniar Fahmi, ST., MT

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**ACCELERATION AGING ON POLYMER INSULATOR
20KV ANALYSIS DUE TO CONTAMINATION BASED ON
LEAKAGE CURRENT MEASUREMENT**

Anisa Kusumaningrum
2213100121

Advisor
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Danar Fahmi, ST., MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Electrical
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Analisa Akselerasi Umur Isolator Polimer 20kV Akibat Pengaruh Kontaminan Berdasarkan Pengukuran Arus Bocor**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai milik sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 6 Mei 2017

Anisa Kusumaningrum

2213100121

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISA AKSELERASI UMUR ISOLATOR POLIMER
20KV AKIBAT PENGARUH KONTAMINAN
BERDASARKAN PENGUKURAN ARUS BOCOR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro**

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc

NIP. 197007181998021001

Dosen Pembimbing II



Danar Fahmi, ST., MT.

NIP. 198909252014041002



Halaman ini sengaja dikosongkan.

Analisis Akselerasi Umur Isolator Polimer 20 kV Akibat Pengaruh Kontaminan Berdasarkan Pengukuran Arus Bocor

Nama : Anisa Kusumaningrum
Pembimbing I : Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST. M.Sc
Pembimbing II : Daniar Fahmi, ST. M.T.

ABSTRAK

Pada studi ini dilakukan pengujian mengenai pengaruh ketebalan lapisan polutan dengan mengukur tingkat ESDD pada permukaan isolator terhadap besar arus bocor dan tegangan *pre-breakdown* pada permukaan isolator polimer. Untuk menganalisis hal tersebut maka dilakukan pengujian akselerasi umur isolator dengan memberikan kabut polutan buatan dan tekanan lingkungan pada isolator sebagai bentuk pre-kondisi akselerasi umur isolator yang dilakukan didalam chamber pengujian akselerasi umur isolator. Selanjutnya untuk mengetahui pengaruh kontaminan garam terhadap kemampuan kuat dielektrik isolator maka dilakukan pengujian *withstand* dan *pre-breakdown voltage*. Pengujian tersebut dilakukan guna mengetahui pengaruh ketebalan lapisan polutan terhadap nilai arus bocor dan *pre-breakdown voltage*. Hasil dari studi ini didapatkan bahwa kemampuan dielektrik isolator dipengaruhi oleh ketebalan lapisan polutan pada permukaan isolator polimer. Nilai arus bocor dan *pre-breakdown voltage* ketika isolator dalam keadaan baru berturut-turut adalah 0.7278mA dan 55kV. Sedangkan ketika ketebalan ESDD pada permukaan isolator 0.3994 gr/cm² besar arus bocor dan *pre-breakdown voltage* berturut-turut 5.259 mA dan 38kV. Pada studi ini juga dilakukan pengujian SEM dan didapatkan hasil pada permukaan isolator polimer yang terkontaminasi muncul retakan yang timbul akibat lapisan polutan. Retakan ini meningkatkan aktivitas *dry band arcing* dan corona. Sedangkan, pada permukaan isolator tanpa kontaminan tidak terdapat polutan dan permukaan jadi lebih rata.

Kata Kunci : Isolator Polimer, Pengujian akselerasi umur isolator, ESDD, Arus Bocor, *Pre-Breakdown Voltage*, SEM.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

***Accelerated Aging of Polymer Insulator 20 kV Analysis
Depends on Contamination by Leakage Current
Measurement***

Nama : Anisa Kusumaningrum
Pembimbing I : Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST. M.Sc
Pembimbing II : Daniar Fahmi, ST. M.T.

ABSTRACT

In this study, testing about the effect of the thickness contaminant level by measuring ESDD level on insulator surface against leakage current and pre-breakdown voltage on insulator polymer surface was investigated. To analyze the effect of the thickness contaminant level, then accelerated aging test is needed as a pre-condition insulator. This test is done by giving artificial contaminants and environmental pressure. This test was tested in accelerated aging chamber. Then to find the effect of contaminations against dielectrics strength, withstand test and pre-breakdown voltage measurement is required. This test be used to find the effect of ESDD thickness against the leakage current and pre-breakdown voltage. The value of leakage current and pre-breakdown voltage in new polymer insulator is 0.7278mA and 55kV. When the ESDD thickness is 0.3994 gr/cm² the leakage current and pre-breakdown voltage on insulator is 5.259 mA and 38kV. So, the conclusion is thickness of ESDD give effect to increase dry band arcing activities on insulator surface. This activities can arise corona on insulator surface. Corona can leads the electrical lossess on system. In this study testing of SEM and obtained results on the surface of polymer contaminated insulator appears cracks arising due to layers of pollutants is carried out. These cracks increases the activity of the dry band arcing and corona.

Keywords : Polymer Insulators, Accelerated Aging Test, ESDD, Leakage Current, Pre-Breakdown Voltage, SEM

Halaman ini sengaja dikosongkan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panhatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat-Nya penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir Penulis yang berjudul : **“Analisa Akselerasi Umur Isolator Polimer 20kV Akibat Pengaruh Kontaminasi Berdasarkan Pengukuran Arus Bocor”** secara tepat waktu.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan menyelesaikan pendidikan sarjana di Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pelaksanaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Sehingga penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Asmara Djuariah, selaku mama tercinta yang selalu memberikan penulis dukungan, doa, dan kasih sayang selama penulis menulis dan menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Eddy Suprpto, selaku ayahanda tercinta yang selalu menjadi motivasi bagi penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro – Fakultas Teknologi Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Bapak Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST. M.Sc dan Bapak Daniar Fahmi, ST., MT selaku dosen pembimbing penulis yang selalu sabar membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Agung Heru Prayitno dan Anang Dwi Santoso yang senantiasa selalu mendengar keluh kesah penulis dan memberi semangat kepada penulis.
6. Thesar Gufont Agrinusa yang telah memberikan motivasi, semangat, dan perhatiannya ke penulis hingga penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Rosyida Sutrisno Putri dan Renata Nilam Sari yang selalu ada ketika penulis sedang butuh semangat lebh dan selalu mendengarkan keluh kesah penulis.
8. Saudara-saudara saya Asisten Laboraturium Tegangan Tinggi ITS Surabaya yang selalu menghibur penulis dan selalu mengingatkan penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Serta teman-teman yang tidak dapat disebutkan secara keseluruhan yang selalu memberi dukungan kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat waktu.

Penulis berharap Tugas Akhir ini bermanfaat dan berguna bagi penulis dan civitas akademika yang membaca.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR ISI	Halaman
HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Sistematika Penulisan	3
BAB II PENGARUH KONTAMINAN TERHADAP KUAT DIELEKTRIK ISOLATOR	5
2.1 Isolator Jaringan.....	5
2.2 Karakteristik Isolator.....	5
2.3 Jenis Isolator Jaringan.....	6
2.4 Bahan Penyusun Isolator	7
2.4.1 Isolator porselin	7
2.4.2 Isolator Gelas.....	7
2.4.3 Isolator Polimer	7
2.5 Konstruksi Isolator Pasak	8
2.6 Pembentukan Sudut Kontak Pada Butir Air	9
2.7 Jenis Kegagalan Elektris Pada Isolator.....	10
2.8 Arus Bocor	11
2.9 Jarak Rambat Isolator	11
2.10 Tingkat Pengotoran Permukaan.....	12
2.11 Perhitungan Faktor Koreksi Udara Pada Tegangan Pre-Breakdown [11].....	14
BAB III METODE PENGUJIAN AKSELERASI UMUR ISOLATOR PASAK BERBAHAN POLIMER	15
3.1 Pemodelan Rangka Pengujian Akselerasi Umur Isolator	16
3.1.1 Konstruksi Isolator Polimer	17
3.1.2 Kabel	18
3.1.3 Tabung Kontaminan	19
3.1.4 Lampu UV.....	20

3.1.5 Heater	20
3.1.6 Pembangkitan Tegangan AC	20
3.2 Perhitungan Kadar Salinasi Pada Permukaan Isolator	21
3.2.1 Perhitungan Luas Permukaan Isolator	22
3.2.2 Kadar Garam dan ESDD Pada Daerah Pesisir Pantai [10] ..	24
3.2.3 Perhitungan Salinasi Garam Pada Permukaan Isolator	25
3.3 Metode Pengukuran Kuat Dielektrik Isolator.....	25
3.3.1 Pengujian Arus Bocor Pada Permukaan Isolator	26
3.3.2 Pengujian Pre-Breakdown Voltage	27
3.3.3 SEM-Test.....	28
BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA ARUS BOCOR PADA ISOLATOR SETELAH DI PRE-KONDISI	31
4.1 Pengujian Akselerasi Umur Isolator Berdasarkan Tingkatan ESDD 31	
4.2 Pengujian Bahan Dielektrik.....	36
4.2.1 Analisa Pengaruh Kontaminan Terhadap Arus Bocor	36
4.2.2 Pengujian Pre-Breakdown Voltage.....	42
4.3 Pengujian SEM	46
BAB 5 PENUTUP	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	53
RIWAYAT HIDUP	55

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1	Isolator Pos(a), Isolator Pasak (b), Isolator Gantung (c), Isolator Cincin (d)	6
Gambar 2.2	Isolator Keramik (a), Isolator Kaca (b), Isolator Polimer (c)	8
Gambar 2.3	Konstruksi Isolator Pasak	9
Gambar 2.4	Pembentukan Sudut Kontak Antara Butir Air dan Permukaan Isolator.....	10
Gambar 3.1	Diagram Skema Alur Penelitian	15
Gambar 3.2	Ilustrasi Rangkaian Pengujian Penuaan Isolator.....	16
Gambar 3.3	Rangka Pengujian Akselerasi Umur Isolator.....	17
Gambar 3.4	Konstruksi Isolator Polimer yang Digunakan	18
Gambar 3.5	Bentuk Isolator Polimer yang di Pre-Kondisi.....	18
Gambar 3.6	Welding Cable 95mm ²	19
Gambar 3.7	Kipas DC 12V (a), Nebulizer (b), Tabung Kontaminan Garam (c).....	19
Gambar 3.8	Lampu Heater 100 W	20
Gambar 3.9	Rangkaian Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	21
Gambar 3.10	Garam CaCl ² (a), Garam MgCl ² (b), Garam KCl(c), Garam NaCl(d).....	24
Gambar3.11	Ilustrasi Pengujian <i>Withstand</i>	27
Gambar3.12	Modul Pengukuran Arus Bocor dengan Pengujian <i>Withstand</i>	27
Gambar 3.13	Ilustrasi Rangka Pengujian Tegangan <i>Pre- Breakdown</i> ..	28
Gambar3.14	Modul Pengukuran Arus Bocor dan Tegangan <i>Pre-Breakdown</i> (a), Modul Pembangkitan AC (b), Modul Pengukuran Tegangan <i>Pre-Breakdown</i> (c)	28
Gambar 4.1	Rangka Pengujian Akselerasi Umur Isolator.....	31
Gambar 4.2	Probe Positif Modul Pengujian Akselerasi Umur Isolator.....	32
Gambar 4.3	Probe Negative Modul Pengujian Akselerasi Umur Isolator.....	32
Gambar 4.4	Isolator Ketika Pengujian Akselerasi Umur Isolator Berlangsung	33
Gambar 4.5	Pengujian Akselerasi Umur Isolator Berlangsung	33
Gambar 4.6	Persebaran Data Grafik Waktu yang Digunakan	35

Gambar 4.7	Grafik ESDD vs Arus Bocor Menit Pertama	36
Gambar 4.8	Grafik ESDD vs Arus Bocor Menit Kedua.....	37
Gambar 4.9	Grafik ESDD vs Arus Bocor Menit Ketiga	38
Gambar 4.10	Grafik ESDD vs Arus Bocor Menit Keempat.....	39
Gambar 4.11	Grafik ESDD vs Arus Bocor Menit Kelima.....	40
Gambar 4.12	Grafik ESDD vs Arus Bocor Rata-Rata.....	41
Gambar 4.13	Pengaruh ESDD Terhadap Besar Tegangan <i>Pre-Breakdown</i> pada Keadaan Udara Bebas(a), Arus Bocor Saat Tegangan <i>Pre-Breakdown</i>	43
Gambar 4.14	Grafik Tegangan <i>Pre-Breakdown</i> dalam Keadaan Standart	45
Gambar 4.15	Corona pada ESDD 0,39942 gr/cm ² (a) Corona pada ESDD 0.2853 gr/cm ²	46
Gambar 4.16	Polimer Tanpa Kontaminan Perbesaran 500x (a), 1000x(b), 2500x(c), dan 5000x(d).....	47
Gambar 4.17	Polimer Dengan Kontaminan Perbesaran 500x(a), dan 1000x(b)	48
Gambar 4.18	Polimer Dengan Kontaminan Perbesaran 2500x(a), dan 5000x(b)	49
Gambar 4.19	Spektrum Garam Pada Permukaan Isolator	50
Gambar 4.20	Spektrum Persebaran Unsur Garam Pada Permukaan Isolator	50

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Klasifikasi Tingkat Polusi ESDD:1994	12
Tabel 2.2 Tingkat Polusi Dilihat dari Aspek Lingkungan Berdasarkan IEC 815 : 1986	12
Tabel 3.1 Spesifikasi Peralatan Pembangkit Tegangan Tinggi AC.....	21
Tabel 3.2 Tahap Pemberian Salinasi Garam dan Besar ESDD	25
Tabel 4.1 Kandungan Garam pada Tiap Salinasi	34
Tabel 4.2 Jadwal Pengujian Akselerasi Umur Isolator	34
Tabel 4.3 Data Temperature dan Kelembaban Saat Awal dan Akhir Setiap Tahap Pengujian	
Tabel 4.4 Besar Arus Bocor Menit Pertama.....	35
Tabel 4.5 Besar Arus Bocor Menit Kedua	36
Tabel 4.6 Besar Arus Bocor Menit Ketiga	37
Tabel 4.7 Besar Arus Bocor Menit Keempat	38
Tabel 4.8 Besar Arus Bocor Menit Kelima	39
Tabel 4.9 Nilai Arus Bocor Rata-Rata	40
Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Tegangan <i>Pre-Breakdown</i> dan Arus Bocor pada Suhu dan Kelembaban Ruangan	42
Tabel 4.11 Nilai Faktor Koreksi Udara pada Setiap Tahap Salinasi	43
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Tegangan <i>Pre-Breakdown</i> pada Keadaan Standart.....	44

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pada sistem penyaluran tenaga listrik terdapat berbagai macam peralatan penunjang salah satunya adalah isolator listrik. Isolator listrik memiliki peranan penting dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik. Isolator adalah peralatan listrik yang tersusun dari bahan dielektrik yang berfungsi untuk mengisolir suatu konduktor bertegangan dengan konduktor lain atau konduktor dengan kerangka penyangga yang diketanahkan agar tidak terjadi kebocoran arus (*leakage current*) atau loncatan bunga api (*flash over*) yang mengakibatkan terjadinya gangguan pada sistem serta menimbulkan bahaya bagi masyarakat yang berada di bawah sistem tersebut[1]. Polimer merupakan bahan dielektrik yang sering digunakan beberapa tahun terakhir. Isolator dengan bahan polimer memiliki banyak keuntungan yaitu ringan, tahan terhadap kerusakan, dan sifat kedap air (*hydrophobicity*) [2]. Sifat kedap air adalah kemampuan sebuah bahan dalam menolak air. Sifat tersebut mengakibatkan polutan tidak mudah menempel pada permukaan isolator, sehingga isolator ini efektif digunakan pada wilayah yang memiliki tingkat kontaminan yang tinggi seperti di daerah industri dan pesisir pantai[3].

Kondisi iklim, polusi, dan terpaan medan listrik menyebabkan terjadinya degradasi dan selanjutnya akan mengakibatkan penuaan pada isolator [4]. Ketika terjadi proses penuaan sifat kedap air akan berkurang sehingga terbentuk lapisan polutan pada permukaan isolator. Lapisan polutan mengakibatkan permukaan isolator bersifat konduktif[5]. Sifat konduktif tersebut menginisiasi munculnya pita kering (*dry-band*) pada permukaan isolator. Adanya pita kering tersebut mengakibatkan arus bocor mampu melewati permukaan isolator sehingga muncul fenomena yang disebut busur api pita kering (*dry-band arcing*)[6]. Fenomena tersebut mengakibatkan umur penggunaan isolator semakin rendah[5,7].

Pada studi ini, akan dilakukan pengamatan lebih lanjut terkait pengaruh ketebalan polutan pada permukaan isolator terhadap kemampuan dielektris isolator tersebut. Adapun permasalahan ini dapat diamati dengan melakukan serangkaian pengujian meliputi pengujian akselerasi umur isolator sebagai bentuk pre-kondisi isolator [7], pengujian *withstand* sebagai metode pengukuran arus bocor, dan *pre-breakdown voltage test* sebagai metode pengukuran arus bocor. Pada pengujian akselerasi umur isolator, isolator diberi kabut garam saat isolator diberi tegangan nominal dan tekanan

lingkungan yang berupa sinar UV. Setelah isolator selesai di pre-kondisi dilakukan serangkaian pengujian kuat dielektrik isolator yaitu pengujian *withstand* dan pengujian *pre-breakdown voltage*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai arus bocor dan tegangan *pre-breakdown* isolator pada kondisi tertentu. Untuk mengukur arus bocor pada isolator digunakan DAQ NI 9426. Nilai arus bocor didapatkan kemudian diolah di dalam *software* data akuisisi.

Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui pengaruh ketebalan lapisan polutan pada permukaan isolator terhadap besar arus bocor dan tegangan *pre-breakdown*, serta pengaruh ketebalan lapisan polutan terhadap meningkatnya aktivitas *dry band arcing* pada permukaan isolator. Adapun manfaat yang diperoleh dari tugas akhir ini adalah membantu instansi-instansi penyedia tenaga listrik maupun industri dalam menentukan penyebab kerusakan dan metode pemeliharaan yang tepat pada isolator polimer. Serta diharapkan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kalangan civitas akademik dalam mengembangkan penelitian mengenai pengaruh lapisan kontaminan pada permukaan isolator polimer.

Metode pengerjaan tugas akhir ini, yaitu pertama akan dilakukan studi literatur dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan terkait permasalahan penurunan kemampuan dielektris isolator akibat lapisan polutan pada permukaan isolator polimer dan penyebab meningkatnya aktivitas *dry band arcing* pada permukaan isolator polimer. Setelah didapatkan parameter-parameter pendukung terkait permasalahan tersebut akan dilakukan pemodelan rangka pengujian akselerasi umur isolator sebagai bentuk pre-kondisi penuaan pada isolator. Selanjutnya, pengujian akan diteruskan dengan melakukan pengujian *withstand*, *pre-breakdown voltage*, dan SEM test. Pengujian *withstand* dan *pre breakdown voltage* digunakan untuk mengetahui kuat dielektris dari isolator polimer setelah diberi kontaminan. Untuk mengukur besar arus bocor pada pengujian *withstand* maka digunakan *software* LabView sebagai media pengolah data. Sedangkan SEM test berguna untuk mengetahui kandungan polutan pada permukaan isolator dengan melihat partikel-partikel yang terdapat pada permukaan isolator polimer secara mikroskopis. Setelah diketahui karakteristik arus bocor dan tegangan *breakdown* yang dimonitoring melalui perangkat lunak LabView, akan dilakukan perbandingan data arus bocor dan tegangan *breakdown* saat terdapat kontaminan dan tidak terdapat kontaminan pada permukaan isolator serta akan dianalisis pengaruh besar arus bocor terhadap besar tegangan *pre-breakdown*. Selanjutnya akan dianalisis pula terkait pengaruh ketebalan lapisan polutan terhadap aktivitas

dry band arcing pada permukaan isolator. Sehingga dapat ditarik kesimpulan yang dapat menjawab permasalahan yang terdapat pada tugas akhir ini.

1.2 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan dalam pembahasan yang akan dilakukan , Tugas Akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Bagian ini meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan, dan relevansi dari penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bagian ini membahas teori-teori penunjang yang melandasi tugas akhir ini, seperti pengertian dan spesifikasi isolator polimer, dan metode yang digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB III: Metode Prekondisian Isolator Polimer Menggunakan Rangka Pengujian Akselerasi Penuaan Isolator

Bagian ini berisi desain pembuatan prekondisian isolator polimer pada rangka pengujian akselerasi umur isolator dengan mengaplikasikan kabut garam pada permukaan isolator sebagai bentuk pre-kondisi penuaan pada isolator, pengujian kuat dielektri yang meliputi pengujian *withstand* dan *pre-breakdown voltage*, serta dilanjutkan dengan pengujian SEM untuk mengetahui partikel mikroskopis yang terletak pada permukaan isolator

BAB IV : Hasil Pengujian dan Analisis Data

Bagian ini akan memaparkan hasil pengujian yang telah dilakukan dan menganalisis hasil pengujian tersebut. analisisnya.

BAB V : Penutup

Bagian ini membahas kesimpulan dari pengujian isolator polimer yang telah dilakukan. Selain itu juga dilampirkan saran yang diharapkan mampu memberikan perbaikan serta penyempurnaan terkait keberlanjutan tugas akhir ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB II

PENGARUH KONTAMINAN PADA PERMUKAAN ISOLATOR TERHADAP KUAT DIELEKTRIK ISOLATOR

2.1 Isolator Jaringan

Isolator adalah peralatan yang terdiri dari bahan dielektrik yang berguna untuk mengisolir suatu konduktor bertegangan dengan konduktor lain yang memiliki beda potensial atau konduktor bertegangan dengan kawat penyangga yang diketanahkan agar tidak terjadi kebocoran arus (*leakage current*) dan loncatan bunga api (*flash over*)[3] yang mengakibatkan terjadinya gangguan pada sistem yang dapat mengurangi keandalan sistem serta dapat membahayakan manusia. Adapun fungsi utama isolator selain yang disebutkan diatas adalah sebagai berikut[1]:

1. Sebagai penyekat/ pengisolir antara kawat penghantar dengan bagian yang diketanahkan dan antar kawat penghantar.
2. Sebagai pemikul beban mekanis yang disebabkan oleh berat kawat penghantar dan/ atau gaya tarik yang disebabkan oleh kawat penghantar.
3. Sebagai pembatas agar jarak antar kawat penghantar tetap.

Kemampuan isolator dapat ditinjau dari kekuatan bahan dielektrik yang digunakan. Isolator dapat dikatakan baik apabila kekuatan bahan dielektriknya mampu menahan beban potensial listrik, beban mekanis, serta medan listrik yang mengenainya tanpa menjadikan isolator tersebut cacat atau rusak. Namun, kemampuan dielektrik isolator dapat berkurang akibat pengaruh kondisi lingkungan disekitar isolator. Kondisi yang dimaksudkan adalah perubahan suhu secara ekstrim, kontaminasi garam pada permukaan, dan kondisi fisik isolator tersebut.

2.2 Karakteristik Isolator

Karakteristik isolator secara umum dapat ditinjau dari dua segi yaitu, segi elektris dan segi mekanis.

1. Pada segi elektris isolator berfungsi untuk mengisolir konduktor bertegangan dan kerangka penyangga yang dikebunkan agar tidak muncul arus listrik yang melewati rangka penyangga. Namun ada dua hal yang dapat menyebabkan sistem isolasi tersebut gagal melaksanakan fungsinya tersebut. Kegagalan elektris pada isolator dipengaruhi oleh kelembaban dan polusi udara[10]. Polusi udara tersebut mengakibatkan munculnya lapisan kontaminan. pada permukaan isolator. Lapisan kontaminan tersebut mengakibatkan permukaan isolator menjadi lebih konduktif, sehingga arus

dapat melewati permukaan isolator. Fenomena timbulnya arus pada permukaan tersebut menginisiasi munculnya kegagalan. Ada dua macam kegagalan pada sistem isolasi yaitu fenomena tegangan lewat denyar (*flash over*) dan tegangan tembus listrik (*breakdown*) pada isolator yang menyebabkan isolator pecah[1]. Fenomena *flashover* mengakibatkan isolator tidak mampu kembali ke posisi semula, sehingga sebagian isolator mengalami kerusakan mekanis. Pada peristiwa tersebut munculnya busur api mengakibatkan pemansan pada permukaan isolator dan menimbulkan hubung singkat.

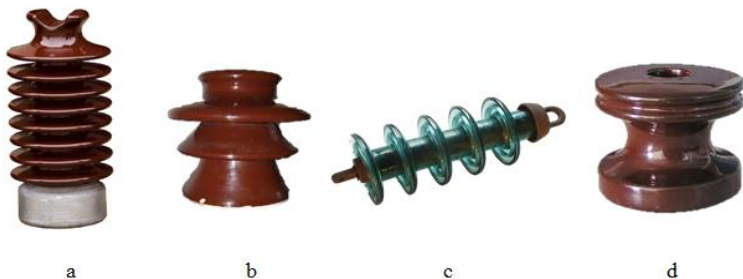
2. Karakteristik mekanis isolator adalah kemampuan sebuah isolator dalam menahan beban mekanis terendah yang dapat mengakibatkan isolator tersebut cacat atau rusak. Kekuatan tersebut dinyatakan dalam tiga keadaan beban, yaitu kuat mekanis tarik, kuat mekanis tekan, dan kuat mekanis tekuk. Kuat mekanis tersebut didapatkan dari kemampuan isolator dalam menahan bebandari kawat penghantar.

2.3 Jenis Isolator Jaringan

Gambar 2.1 merupakan isolator jaringan yang sering digunakan pada saluran transmisi dan distribusi sistem tenaga listrik dapat dibedakan menjadi empat macam secara berturut-turut berdasarkan fungsi dan konstruksinya, yaitu :

1. Isolator jenis Pasak (*pin type insulator*).
2. Isolator jenis Pos (*post type insulator*).
3. Isolator jenis Gantung (*suspension type insulator*).
4. Isolator jenis Cincin (*spool type insulator*).

Penggunaan masing-masing isolator ditentukan oleh fungsi dan letak isolator tersebut terpasang.



Gambar 2.1 Isolator Pos (a), Isolator Pasak (b), Isolator Gantung (c), dan Isolator Cincin (d).

2.4 Bahan Penyusun Isolator

Bahan penyusun sebuah isolator mempengaruhi kemampuan elektrik dan mekanis isolator tersebut. Secara umum bahan penyusun yang sering digunakan adalah porselin, gelas, dan polimer. Gambar 2.2 merupakan contoh isolator berdasarkan jenis bahan yang digunakan.

2.4.1 Isolator porselin

Porselin adalah bahan yang terdiri dari bahan campuran tanah porselin, kwarts, dan veld spat, yang pada bagian permukaannya dilapisi dengan bahan glazuur agar bahan isolator tersebut tidak berpori-pori. Isolator jenis ini memiliki kekuatan dielektrik yang sangat tinggi serta memiliki kekuatannya mekanis yang sangat besar. Kekuatan dielektrik pada bahan ini lebih stabil karena adanya ikatan ionic yang kuat antar atom sehingga tidak mudah rusak oleh pengaruh lingkungan. Bahan ini pun cenderung tahan lama. Namun, disisi lain isolator porselin mudah mengalami aktivitas *treeing* karena adanya void sehingga arus melewati celah tersebut. Isolator porselin pun lebih mudah terkontaminasi karena sifat *hidrofobik* yang rendah, sehingga kontaminan mudah menempel pada permukaan isolator ini.

2.4.2 Isolator Gelas

Isolator gelas banyak digunakan pada jaringan distribusi sekunder. Isolator gelas mudah mengembun, sehingga kontaminan mudah melekat pada permukaan isolator ini. Hal ini mengakibatkan mudah terjadinya *breakdown* dan arus bocor semakin besar pada isolator ini. Isolator jenis ini pun rentan terhadap perubahan temperature, semakin besar perubahan suhu yang dialami isolator gelas maka kemungkinan keretakan pada permukaan isolator akan semakin besar.

Keunggulan isolator bahan ini adalah kuat dielektriknya tinggi, kuat tekannya lebih besar dibandingkan porselin, serta kerusakan pada permukaan isolator gelas mudah dideteksi.

2.4.3 Isolator Polimer

Isolator polimer adalah bahan penyusun isolator yang masih terbilang baru. Pada beberapa dekade terakhir penggunaan isolator polimer semakin banyak sebagai pengganti isolator bahan porselin dan gelas. Hal ini dikarenakan isolator polimer memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan porselin dan gelas.

Kelebihan isolator polimer antara lain:

1. Memiliki sifat hidrofobik yang sangat baik.
2. Memiliki massa jenis yang lebih kecil dibandingkan isolator berbahan porselin dan gelas.
3. Memiliki sifat dielektrik dan termal yang lebih tinggi.
4. Tahan terhadap polusi sehingga kotoran sukar menempel pada permukaan.
5. Tidak terdapat lubang karena bahan yang digunakan sangat rapat.

Adapun kekurangan yang dimiliki isolator polimer adalah:

1. Kekuatan mekanis isolator polimer lebih rendah dibandingkan isolator berbahan porselin dan gelas.
2. Ketidcocokan bahan antar muka yang digunakan dapat menimbulkan korosi atau keretakan.
3. Rentan terhadap perubahan cuaca yang ekstrim.
4. Penuaan/degradasi pada permukaan dan *stress* yang disebabkan oleh korona, radiasi UV, atau zat kimia dapat mengakibatkan reaksi kimia pada permukaan isolator polimer. Sehingga dapat mempercepat penuaan yang dapat menghilangkan sifat hidrofobiknya.



(a)



(b)



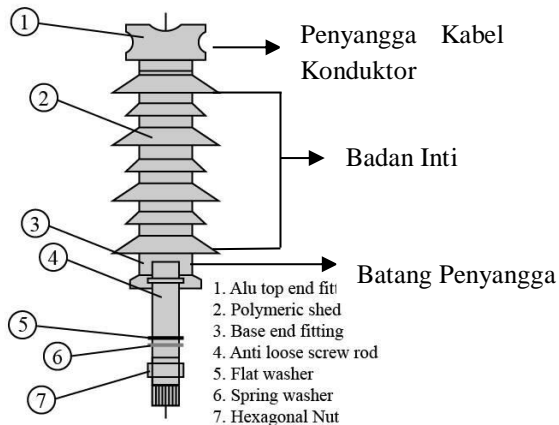
(c)

Gambar 2.2 Isolator Keramik (a), Isolator Kaca (b), Isolator Polimer (c).

2.5 Konstruksi Isolator Pasak

Isolator pasak yang digunakan pada studi ini dapat dilihat pada gambar 2.3. Isolator pasak terdiri dari badan inti isolator yang dapat terdiri dari bahan porselin, gelas, dan polimer. Pada bagian atas isolator terdapat tiang penyangga yang terbuat dari besi. Bentuk kepala dari isolator pin disesuaikan dengan lebar kabel konduktor. Adapun konstruksi isolator pasak dapat dijabarkan menjadi sebagai berikut:

1. Kabel konduktor
Kabel konduktor merupakan bagian tambahan dari isolator. Kabel konduktor merupakan bagian yang bertegangan dan mengalirkan arus listrik. Kabel konduktor ini terletak dibagian atas isolator.
2. Badan Inti
Badan inti terdiri dari bahan dielektrik yang digunakan untuk isolator. Konstruksi dari badan isolator tergantung pada bentuk, ukuran, dan jumlah tiap sirip
3. Batang Penyangga
Batang penyangga memiliki fungsi sebagai pengikat antara isolator dengan tiang listrik.



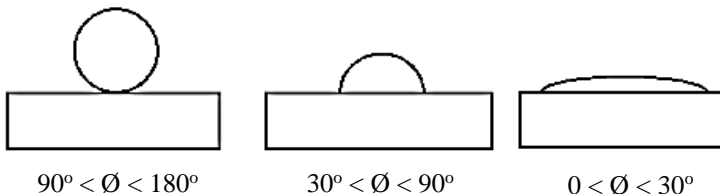
Gambar 2.3 Konstruksi Isolator Pasak.

2.6 Pembentukan Sudut Kontak Pada Butir Air

Sudut kontak (θ) adalah sudut yang terbentuk antara permukaan isolator dengan air destilasi pada permukaan isolator. Sifat *hydrophobic* pada suatu permukaan isolator mempengaruhi besar sudut kontak air pada permukaan isolator. Sifat hidrofobik berguna agar permukaan isolator tetap memiliki konduktivitas yang rendah, sehingga nilai arus bocor yang mengalir relative lebih kecil [10]. Besar sudut kontak yang terbentuk mempengaruhi besar arus bocor dan medan listrik pada permukaan isolator. Hal ini pun mampu menginisiasi penurunan kekuatan elektris isolator.

Besar sudut kontak air pada suatu permukaan dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu[3]:

1. Hampir tidak basah
Sudut kontak yang terbentuk antara butir air dan permukaan isolator adalah lebih dari 90 derajat dan kurang dari 180 derajat.
2. Basah Sebagian
Sudut kontak yang terbentuk antara butir air dan permukaan isolator adalah 30 derajat hingga 90 derajat.
3. Basah Keseluruhan
Sudut kontak yang terbentuk antara butir air dan permukaan isolator adalah 0 derajat hingga kurang dari 30 derajat..



Gambar 2.4 Pembentukan Sudut Kontak Antara Butir Air dan Permukaan Isolator

2.7 Jenis Kegagalan Elektris Pada Isolator

Penyebab utama penurunan kualitas isolator yaitu polutan udara dan air hujan yang mengakibatkan munculnya *dry band arcing*. Pada isolator peningkatan fenomena *dry band arcing* adalah salah satu penyebab kegagalan-kegagalan pada isolator [9]. Adapun kegagalan-kegagalan yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Kegagalan tembus (*breakdown*), fenomena ini disebabkan karena adanya faktor luar seperti sambaran petir dan terbentuknya lapisan kontaminan pada permukaan isolator. Lapisan kontaminan tersebut mengakibatkan penurunan tegangan tembusnya. Hal ini diakibatkan kemampuan elektris isolator berkurang. Kegagalan ini mengakibatkan karakteristik isolator tidak dapat kembali pulih seperti semula, dan sebagian isolator mengalami kerusakan mekanik sehingga tidak dapat digunakan kembali.
2. Kegagalan Lewat Denyar (*flashover*), kegagalan elektris tersebut bergantung pada tahanan permukaan dan bentuk isolator. Kegagalan ini biasanya disebabkan oleh kondisi lingkungan. Fenomena ini menyebabkan terjadinya kerusakan pada permukaan isolator. Kegagalan ini bermula dari terbentuknya pita kering (*dry band*). Pita kering tersebut disebabkan karena

adanya lapisan kontaminan pada permukaan isolator. Lapisan yang terbentuk dipermukaan isolator menyebabkan meningkatnya arus bocor (*leakage current*). Pita kering tersebut dialiri oleh arus bocor secara terus-menerus sehingga mengakibatkan pemanasan pada permukaan isolator. Pemanasan secara terus-menerus dapat mempercepat penuaan (*aging*) serta munculnya busur listrik menyebabkan terbentuknya jejak erosi (*tracking*).

2.8 Arus Bocor

Munculnya arus bocor pada isolator dipengaruhi oleh adanya bagian konduktif pada permukaan isolator. Lapisan konduktif ini diakibatkan adanya kontaminasi polutan yang menempel pada permukaan isolator. Polutan yang menempel pada permukaan isolator dapat bersifat konduktif dan non-konduktif. Polutan yang bersifat konduktif berperan sebagai jalur arus bocor, namun polutan yang bersifat non-konduktif (lembam) mampu menginisiasi adanya arus bocor. Hal ini dikarenakan polutan yang bersifat lembam mampu meningkatkan kebasahan (hidrofilik) pada permukaan isolator serta meningkatkan pengikatan polutan yang bersifat konduktif.

Pada kondisi bersih atau tanpa polutan, permukaan isolator memiliki tahanan listrik dan kuat dielektrik yang besar sehingga nilai arus bocor sangat kecil. Namun, adanya lapisan konduktif dan kontaminasi air pada permukaan isolator mengakibatkan kemampuan tahanan listrik dan kuat dielektrik menurun [9]. Hal tersebut mengakibatkan peningkatan nilai arus bocor.

Adanya arus bocor yang disebabkan oleh lapisan polutan tersebut pada permukaan isolator mengakibatkan pemanasan pada isolator. Pada isolator polimer pemanasan ini menginisiasi munculnya korona dan munculnya fenomena pita kering (*dry band*). Munculnya korona dan pita kering tersebut menginisiasi munculnya kegagalan listrik[8].

2.9 Jarak Rambat Isolator

Jarak rambat isolator adalah panjang permukaan isolator yang memisahkan bagian bertegangan terhadap titik pembumian. Menurut IEC 815, jarak rambat minimum suatu isolator adalah sebagai berikut:

$$l_n = J_{rs} \times V \times k_d$$

Dalam hal ini:

L_n = jarak rambat nominal minimum (mm)

J_{rs} = Jarak rambat spesifik minimum (mm/kV)

V = Tegangan fasa ke fasa tertinggi sistem (kV)

K_d = Faktor koreksi yang bergantung pada diameter isolator

Jarak rambat spesifik suatu isolator dipengaruhi pada tingkat bobot polusi di kawasan isolator terpasang. Menurut hasil pengujian laboratorium [1], kinerja isolator menurun dengan bertambahnya diameter rata-rata isolator. Faktor koreksi ini diperlukan untuk menaikkan jarak rambat isolator, sehingga kinerja isolator yang semakin baik.

2.10 Tingkat Pengotoran Permukaan

Pengotoran pada permukaan isolator disebabkan adanya komponen polutan yang menempel pada permukaan isolator. Komponen polutan tersebut terdiri dari dua jenis yaitu komponen konduktif dan komponen lembam. Komponen konduktif adalah komponen yang mampu dialiri arus listrik. Komponen konduktif terdiri dari lapisan garam yang terurai menjadi ion. Sedangkan komponen lembam memiliki dua kemungkinan sifat yang dimiliki, yaitu hidrofobik dan hidrofilik. Sifat hidrofobik mengakibatkan titik-titik air mudah menempel pada permukaan isolator. Sedangkan sifat hidrofilik meningkatkan kebasahan permukaan isolator[10].

Menurut standar IEC 815 ayat 2, ada tiga metode untuk menentukan tingkat bobot polusi isolator di suatu kawasan, yaitu:

1. Berdasarkan analisa kualitatif kondisi lingkungan.
2. Berdasarkan evaluasi terhadap pengalaman lapangan tentang perilaku isolator yang sudah terpasang di kawasan tersebut.
3. Berdasarkan pengukuran polutan isolator yang sudah terpasang/ sudah beroperasi.

Komponen-komponen tersebut akan membentuk suatu lapisan polutan yang menempel pada permukaan isolator. Lapisan polutan ini bersifat konduktif. Lapisan polutan konduktif tersebut dapat dianggap sebagai resistansi yang menghubungkan bagian-bagian di isolator[1]. Ketebalan lapisan polutan tersebut menurut standar IEC 815 ditetapkan menjadi empat, yaitu ringan, sedang, berat, dan sangat berat. Metode umum yang digunakan adalah ESDD (*Equivalent Salt Density Deposit*) dan tinjauan keadaan di lapangan.

Adapun penentuan tingkat polusi isolator dengan menggunakan metode ESDD (*Equivalent Salt Density Deposit*) berdasarkan standart IEC 815 tahun 1994 ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Tingkat Polusi ESDD:1994

ESDD(mg/cm ²)	Tingkat Polusi
0-0.03	Ringan
0.03-0.06	Sedang
0.06-0.1	Berat
>0.1	Sangat Berat

Penentuan tingkat polusi isolator berdasarkan metode tinjau lapangan ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tingkat Polusi Dilihat dari Aspek Lingkungan Berdasarkan IEC 815:1986

Tingkat Polusi	Contoh Lingkungan
Ringan	1. Daerah dengan sedikit industri dan rumah penduduk dengan sarana pembakaran rendah. 2. Daerah pertanian dan pegunungan (Daerah- daerah diatas terletak 10 km atau lebih dari laut dan angin laut tidak berhembus atau terpapar langsung)
Sedang	1. Daerah industri yang tidak menghasilkan polusi gas. 2. Daerah industri atau pemukiman yang tingkat memiliki tingkat curah hujan tinggi. 3. Daerah yang tidak terlalu dekat dengan pantai.
Berat	1. Daerah industri dan perkotaan dengan sarana pembakaran tinggi. 2. Daerah dekat dengan laut dan terpapar angin laut secara langsung.
Sangat Berat	1. Daerah pantai dan terkena air laut 2. Daerah gurun atau padang pasir.

2.11 Perhitungan Faktor Koreksi Udara Pada Tegangan *Pre-Breakdown* [11]

Keadaan udara pada saat pengujian tentu tidak selalu sama dengan keadaan standart. Oleh karena itu, diperlukan perhitungan pada tegangan *pre-breakdown* ketika isolator diukur pada tegangan standart. Untuk mengubah tegangan *pre-breakdown* pada kondisi udara sembarang ke udara standart maka diperlukan persamaan 3.11

$$V = \delta V_s \quad (3.11)$$

Dimana:

V = Tegangan *pre-breakdown* yang terukur saat pengujian (keadaan udara sembarang).

V_s = Tegangan *pre-breakdown* isolator pada keadaan udara standar.

δ = Faktor koreksi udara.

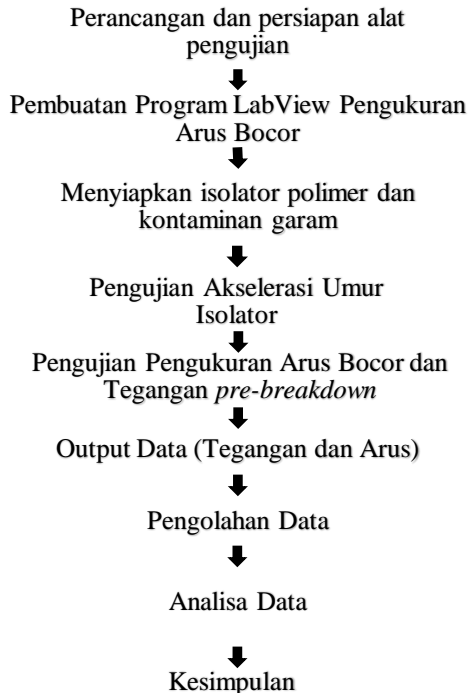
Untuk mencari nilai faktor koreksi udara maka digunakan persamaan 3.12 yaitu:

$$\delta = \frac{P}{1013} \times \frac{273 + 20}{273 + T} \quad (3.12)$$

BAB III

METODE PENGUJIAN AKSELERASI UMUR ISOLATOR PASAK BERBAHAN POLIMER

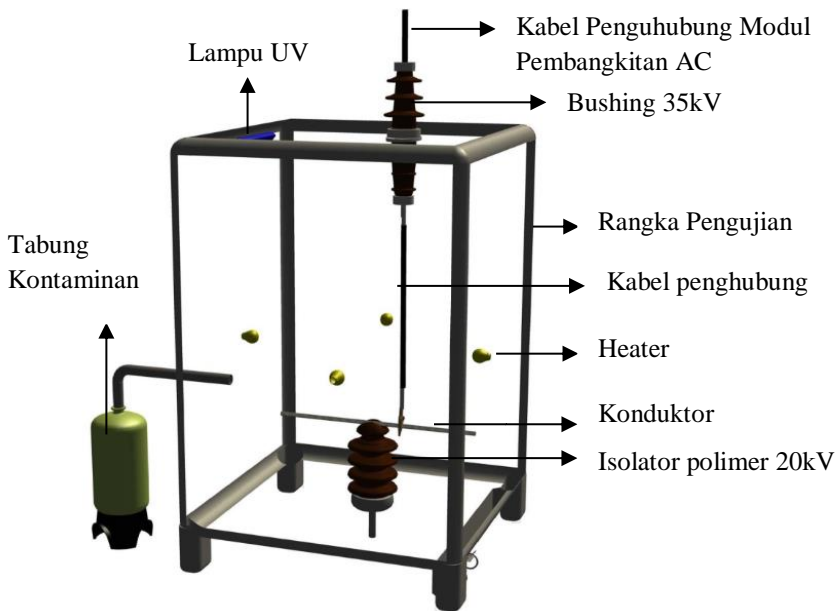
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metode pengujian dan peralatan uji yang akan digunakan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan dua macam pengujian untuk mengetahui pengaruh kontaminasi garam dalam akselerasi umur isolator polimer dengan mengukur besar arus bocor. Pengujian pertama yang akan dilakukan adalah prngujian akselerasi umur isolator yang akan dilanjutkan dengan pengujian kuat dielektrik yang meliputi pengukuran arus bocor dan tegangan *pre-breakdown*. Skema penelitian yang akan digunakan dapat dilihat pada diagram alir gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Skema Alur Penelitian

3.1 Pemodelan Rangka Pengujian Akselerasi Umur Isolator

Untuk memodelkan penuaan isolator maka digunakan metode pengujian kabut garam. Pengujian kabut garam dilakukan dengan memberikan kontaminan garam atau polusi buatan yang merujuk pada standart IEC 60383-1. Dalam pengujian kabut garam, isolator akan diberikan tegangan 20kV secara kontinu dan disemprotkan kontaminan garam serta sinar UV selama beberapa waktu [5,10]. Sensor kelembaban dan temperatur diletakkan didalam *chamber* untuk mengetahui besar kelembaban dan suhu sebelum dan sesudah pengujian. Rangka pengujian kabut garam yang digunakan adalah sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Ilustrasi Rangkaian Pengujian Akselerasi Umur Isolator

Gambar 3.3 merupakan hasil pemodelan rangkaian pengujian akselerasi umur isolator. Peralatan yang digunakan untuk mendapatkan akselerasi umur isolator akibat pengaruh kontaminan dengan mengukur besar arus bocor adalah modul pembangkitan tegangan AC, isolator polimer jenis pasak, lampu yang berperan sebagai heater, sensor kelembaban, sinar UV,

dan tabung penggaraman. Modul pengujian kabut garam yang digunakan pada studi ini berukuran (1x1x1,2)m. Tiap sisi pada rangka pengujian ini menggunakan fiber, serta pada bagian muka diberi akrilik dengan ketebalan 2mm. Pada sisi-sisi rangka pengujian diberikan lampu 100W dan lampu UV yang berguna sebagai pemanas selama pengujian menggantikan fungsi matahari. Penghubung antara konduktor isolator dengan modul pembangkitan AC adalah kabel welding ukuran 95mm².

3.1.1 Konstruksi Isolator Polimer

Gambar 3.4 dan 3.5 merupakan konstruksi dan bentuk isolator polimer yang digunakan pada studi ini. Isolator polimer yang digunakan adalah isolator jenis pin yang diaplikasikan pada jaringan distribusi 20kV. Isolator polimer memiliki sifat hidrofobik yang sangat baik, tahan terhadap kontaminan, dan memiliki konstruksi yang ringan.

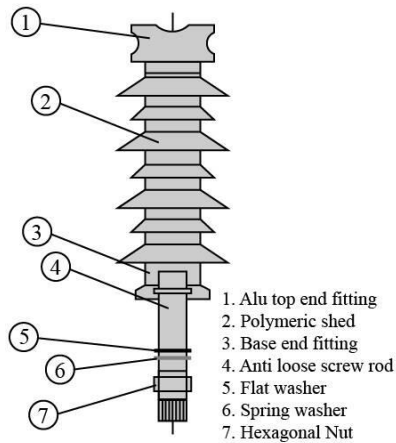


(a)



(b)

Gambar 3.3 Rangka Pengujian Akselerasi Umur Isolator



Gambar 3.4 Konstruksi Isolator Polimer yang Digunakan



Gambar 3.5 Bentuk Isolator Polimer yang di Pre-Kondisi

3.1.2 Kabel

Gambar 3.6 merupakan kabel yang digunakan untuk menghubungkan isolator dengan rangkaian pembangkitan AC dengan rangka pengujian akselerasi umur isolator. Kabel yang digunakan untuk pengujian ini adalah kabel welding 95mm^2 sepanjang 1 m. Kabel ini terpasang dibagian atas chamber *salt-fog test*.



Gambar 3.6 Welding Cable 95mm²

3.1.3 Tabung Kontaminan

Gambar 3.7 merupakan peralatan yang terdapat pada tabung kontaminan garam. Tabung kontaminan pada rangka pengujian ini berfungsi sebagai wadah kontaminan buatan berupa campuran garam dan air destilasi. Tabung kontaminan garam terdiri dari :

1. Kipas DC 12 V, benda ini digunakan untuk mendorong uap garam yang dihasilkan di dalam tabung kontaminan menuju rangka pengujian yang disalurkan melalui pipa. Gambar 3.7 (a)
2. Nebulizer, benda ini berguna untuk mengubah larutan garam menjadi uap garam. Gambar 3.7 (b)



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.7 Kipas DC 12V(a), Nebulizer (b), Tabung Kontaminan Garam (c)

3.1.4 Lampu UV

Lampu UV berperan sebagai pengganti sinar UV yang dihasilkan oleh matahari.

3.1.5 Heater

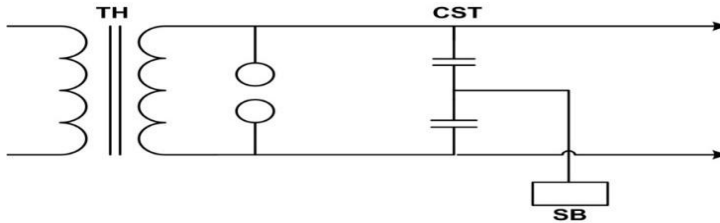
Gambar 3.8 Heater yang digunakan pada rangka pengujian saltfog berupa lampu pijar 100W sebanyak 4 buah yang diletakkan pada setiap sisi chamber saltfog.



Gambar 3.8 Lampu Heater 100W.

3.1.6 Pembangkitan Tegangan AC

Tegangan yang digunakan pada Tugas Akhir ini yaitu tegangan AC. Untuk menerapkan tegangan sebesar 20kV maka diperlukan pembangkitan AC. Pembangkitan ini menggunakan sumber dari PLN sebesar 220 yang di *step-up* menjadi 20kV. Modul pembangkitan AC yang digunakan dalam pengujian ini adalah pembangkitan tegangan AC yang terdapat di Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro ITS. Pada Gambar 3.9 merupakan rangkaian pembangkitan tegangan AC. Pada modul rangkaian pembangkitan tersebut terlihat bahwa diperlukan antara lain *High Voltage Transformator* (TH) yang berfungsi sebagai trafo *step-up*, terdapat pembagi tegangan kapasitor yang berfungsi sebagai *range* pengisian tegangan atau pembangkitan tegangan yang diberikan selama pengujian, dan terdapat SB (*Control Box*) yang berfungsi sebagai pengatur tegangan selama pembangkitan. Spesifikasi modul pembangkitan tegangan tinggi AC yang digunakan pada pengujian ini tersaji dalam tabel 3.1.



Gambar 3.9 Rangkaian Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Tabel 3.1 Spesifikasi Peralatan Pembangkitan Tegangan Tinggi AC.

High Voltage Transformator (HT)	80 kV, 5 kVA
Divider (CST)	400 KV impulse, 500pF
Control Box (SB)	Type 273

3.2 Perhitungan Kadar Salinasi Pada Permukaan Isolator

Ketebalan lapisan kontaminan pada permukaan isolator ditentukan oleh besar ESDD (Equivalent Salt Deposit Density). Besar ESDD mempengaruhi tingkat salinasi yang akan diberikan.

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} [1 - b(\theta - 20)] \quad (3.1)$$

Keterangan :

σ_{θ} = Konduktivitas pada Suhu θ

σ_{20} = Konduktivitas pada Suhu 20°C

b = Faktor Koreksi pada Suhu θ (IEC 507)

θ = Suhu Larutan

Setelah konduktivitas pada suhu 20°C didapatkan, salinasi (S_a) dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$S_a = (5.7 \times \sigma_{20})^{1.03} \quad (3.2)$$

Dari persamaan 3.2, maka nilai ESDD dapat diketahui sebagai berikut :

$$ESDD = \frac{S_a \times V}{A} \quad (3.3)$$

Keterangan :

V = Volume air (mL)

A = Luas Isolator yang dikenai kontaminan (cm²)

S_a = Salinasi garam (gr/cm³)

3.2.1 Perhitungan Luas Permukaan Isolator

Untuk mengetahui besar salinasi yang diberikan maka diperlukan luas permukaan isolator polimer. Perhitungan luas permukaan isolator didapatkan dengan menggunakan persamaan kurva garis sebagai berikut:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (3.4)$$

Koordinat kurva yang digunakan adalah (0,r) dan (h,R). Sehingga didapatkan persamaan:

$$\frac{y - r}{R - r} = \frac{x - 0}{h - 0} \quad (3.5)$$

Persamaan 3.5 dapat disederhanakan menjadi:

$$y = x \frac{R - r}{h} + r \quad (3.6)$$

Sedangkan untuk mendapatkan rusuk kurva dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$s = \sqrt{(R - r)^2 + h^2} \quad (3.7)$$

Untuk mengetahui luasan dari kurva yang mengelilingi sumbu x maka digunakan persamaan integral sebagaimana yang terdapat dibawah ini:

$$A = 2\pi \int_a^b y \sqrt{1 + \left(\frac{R - r}{h}\right)^2} \quad (3.8)$$

Jika persamaan 3.6 disubstitusikan pada persamaan 3.8, maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$A = 2\pi \int \left[x \left(\frac{R - r}{h} \right) + r \right] \sqrt{1 + \left(\frac{R - r}{h} \right)^2} dx$$

$$A = 2\pi \sqrt{\frac{h^2 + (R - r)^2}{h^2}} \int_0^h \left[x \left(\frac{R - r}{h} \right) + r \right] dx$$

$$A = 2\pi \frac{1}{h} \sqrt{h^2 + (R - r)^2} \int_0^h \left[x \left(\frac{R - r}{h} \right) + r \right] dx$$

$$A = \frac{2\pi}{h} s \left[\frac{R - r}{2h} x^2 + xr \right]_0^h$$

$$A = \frac{2\pi}{h} s \left[\frac{(R - r)}{2h} h^2 + hr \right] - \left[\frac{(R - r)}{2h} 0 + 0r \right]$$

$$A = \pi s(R + r) \quad (3.9)$$

Bila diketahui nilai jari-jari (r) dalam cm, jari-jari luar (R) dan tebal isolator (h) yaitu:

$$r = 2.25 \text{ cm}$$

$$R = 7 \text{ cm}$$

$$h = 4 \text{ cm}$$

Maka dapat diketahui panjang selimut (s) dengan memasukkan parameter tersebut pada persamaan 3.7:

$$s = \sqrt{(7 - 2.25)^2 + 4^2}$$

$$s = 6.2098 \text{ cm}$$

Sehingga dengan menggunakan persamaan 3.9 maka luas permukaan isolator polimer yaitu :

$$A = \pi \cdot 6.2098(7 + 2.25)$$

$$A = 180.3636 \text{ cm}^2$$

3.2.2 Kadar Garam dan ESDD Pada Daerah Pesisir Pantai [10]

Pada tugas akhir ini digunakan ESDD yang terdapat pada daerah pesisir pantai khususnya di Gresik. Gambar 3.10 merupakan jenis-jenis kontaminan garam yang terkandung pada permukaan isolator di daerah pesisir pantai yang terdiri dari K (0,31%), Na (37,4%), Ca(31,54%), dan Mg(30,77%) dengan besar ESDD 0,3994gr/cm².



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.10 Garam CaCl_2 (a), Garam MgCl_2 (b), Garam KCl (c), Garam NaCl (d)

3.2.3 Perhitungan Salinasi Garam Pada Permukaan Isolator

Untuk salinasi garam, ditentukan volume air destilasi sebesar 1000mL atau 1L. Nilai ESDD ditentukan sebesar 0.3994 gr/cm² [10]. Luas permukaan A adalah 180.3636 cm². Sehingga besar salinasi dapat ditentukan melalui persamaan 3.10 yaitu:

$$ESDD = \frac{S_a \times V}{A} \quad (3.10)$$

$$0.3994 \text{ gr/cm}^2 = \frac{S_a \times 1000\text{mL}}{180.3636 \text{ cm}^2}$$

$$S_a = 65.863 \text{ gr/cm}^3$$

Tingkat ESDD yang digunakan pada tugas akhir ini termasuk klasifikasi polusi berat. Pada studi ini tahapan salinasi akan dibagi menjadi 7 tahapan, hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh salinasi terhadap besar arus bocor yang dihasilkan. Sehingga didapatkan hasil salinasi sebagai berikut:

Tabel 3.2 Tahap Pemberian Salinasi Garam dan Besar ESDD.

No.	Salinasi (gr/dm ³)	ESDD (gr/cm ²)
1	0	No Fog
2	0	Clean Fog
3	9.409	0.05706
4	18.818	0.11412
5	28.227	0.17118
6	37.63	0.22824
7	47.045	0.2853
8	56.454	0.34236
9	65.863	0.39942

3.3 Metode Pengukuran Kuat Dielektrik Isolator

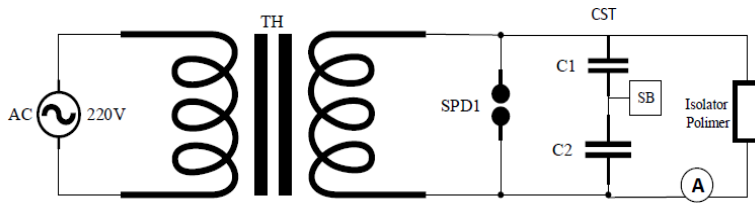
Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan pengujian kuat dielektrik isolator polimer dengan cara mengukur besar arus bocor dan tegangan *pre*-

breakdown pada setiap tahap salinasi. Kontaminan yang menempel pada permukaan isolator mempengaruhi performa kerja dari isolator. Hal ini dikarenakan, lapisan kontaminan yang terdapat pada permukaan isolator bersifat konduktif dan mempengaruhi kuat dielektrik isolator. Kuat dielektrik yang akan diuji pada studi ini adalah besar arus bocor pada permukaan isolator ketika diberi tegangan sesuai dengan rating dari isolator serta tegangan *pre-breakdown* pada isolator.

3.3.1 Pengujian Arus Bocor Pada Permukaan Isolator

Pada Tugas Akhir ini, akan dilakukan analisis mengenai pengaruh lapisan kontaminan pada permukaan isolator terhadap kuat dielektrik dari isolator. Untuk mengukur arus bocor maka dilakukan pengujian *withstand test*. Gambar 3.11 merupakan ilustrasi pengujian arus bocor yang dilakukan pada studi ini. Pengujian ini dilakukan guna mengukur besar arus bocor yang melewati permukaan isolator pada tegangan ratingnya setelah dilakukan pre-kondisi. Pada pengujian ini, isolator polimer dihubungkan dengan rangkaian pembangkitan AC dimana ilustrasi pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.12. Pada gambar tersebut bagian pembumian isolator dihubungkan dengan CT 200/5 pada kabel grounding pengujian arus bocor, setelah itu CT dihubungkan ke DAQ NI 9426. CT tersebut digunakan untuk mengukur arus bocor yang melewati permukaan isolator, sebagai penunjang studi ini digunakan modul data akuisisi untuk merekam arus bocor yang melewati permukaan isolator. Data arus bocor yang diambil pada modul data akuisisi merupakan data arus bocor yang direkam selama lima menit. Sehingga didapatkan data arus bocor yang kemudian diolah melalui *software* LabView. Adapun langkah-langkah pengujian arus bocor yaitu:

1. Siapkan modul pembangkitan AC.
2. Pasang probe positif pada konduktor yang terpasang di badan isolator polimer.
3. Pasang probe *grounding* pada bagian bawah konduktor penyangga isolator.
4. Aplikasikan tegangan 20Kv AC pada isolator.
5. Ambil data arus bocor selama pada menit pertama, kedua, ketiga, keempat, dan kelima.
6. Setelah itu naikan tegangan AC hingga muncul korona pada permukaan isolator dan rekam nilai arus bocor saat isolator telah mencapai tegangan *pre-breakdown*.



Gambar 3.11 Ilustrasi Pengujian *Withstand*



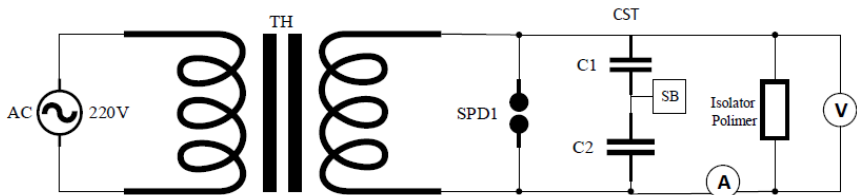
Gambar 3.12 Modul Pengukuran Arus Bocor dengan Pengujian *Withstand*

3.3.2 Pengujian Pre-Breakdown Voltage

Pada Tugas Akhir ini, akan dilakukan pengujian *pre-breakdown voltage*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar tegangan *pre-breakdown* setelah isolator di pre-kondisi. Gambar 3.13 merupakan ilustrasi dari rangkaian pengujian tegangan *pre-breakdown voltage*. Pada pengujian ini isolator polimer dihubungkan dengan pembangkitan tegangan AC. Nilai tegangan *pre-breakdown* diketahui dengan menaikkan tegangan pembangkitan hingga timbul corona pada isolator. Corona yang dimaksud adalah munculnya desis atau pendar berwarna ungu pada permukaan isolator. Gambar 3.14 merupakan modul pengujian *pre-breakdown voltage*. Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam pengujian ini yaitu:

1. Siapkan modul pembangkitan tegangan AC.
2. Pasang probe positif pembangkitan AC pada konduktor yang terpasang dibadan isolator polimer.

3. Pasang pula probe negative pembangkitan AC pada bagian *grounding* isolator polimer.
4. Nyalakan modul pembangkitan AC secara hati-hati.
5. Naikkan level tegangan pengujian secara perlahan hingga timbul desis atau pendar berwarna ungu pada isolator.
6. Catat hasil pengukuran tegangan *pre-breakdown* serta catat pula nilai arus bocor yang timbul saat terjadi *pre-breakdown*.



Gambar 3.13 Ilustrasi Rangkain Pengujian Tegangan *Pre-Breakdown*



(a)

(b)

(c)

Gambar 3.14 Modul Pengukuran Arus Bocor dan Tegangan *Pre-Breakdown* (a), Modul Pembangkitan AC (b), Modul Pengukuran Tegangan *Pre-Breakdown* (c)

3.3.3 SEM-Test

SEM-Test (*Scanning Electrone Microscope*) adalah pengujian yang digunakan untuk mengetahui perubahan penampakan secara mikroskopis pada permukaan isolator dengan menembakkan electron pada permukaan sampel. SEM dilakukan dengan melihat partikel yang ada dipermukaan isolator dengan perbesaran 500 kali, 1000 kali, 2500 kali, dan 5000kali. Pengujian ini dilakukan pada sampel permukaan isolator dalam bentuk spesimen. Spesimen yang digunakan berukuran (1x1x1)cm. sampel yang

digunakan merupakan sampel permukaan isolator yang sudah diberi kontaminan dan belum diberi kontaminan. Hasil dari pengujian ini adalah membandingkan penampakan partikel yang terdapat pada permukaan isolator ketika belum diberi kontaminan buatan dan kontaminan akhir saat ESDD 0,3994 gr/cm².

Pada pengujian ini juga dapat dilihat kadar kandungan garam yang terdapat pada permukaan isolator dengan metode SEM-DEX.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISA ARUS BOCOR PADA ISOLATOR SETELAH DI PRE-KONDISI

Pada bab ini akan dipaparkan metode pengujian yang telah dilakukan dan menganalisis hasil pengujian pre-kondisi isolator polimer. Hal ini dilakukan guna mengetahui pengaruh ketebalan ESDD terhadap besar arus bocor dan tegangan *pre-breakdown*.

4.1 Pengujian Akselerasi Umur Isolator Berdasarkan Tingkatan ESDD

Gambar 4.1 merupakan rangka pengujian akselerasi umur isolator yang digunakan pada studi ini. Pengujian akselerasi umur isolator dilakukan untuk melakukan pre-kondisi penuaan pada isolator polimer dengan mengaplikasikan kabut garam dan tekanan lingkungan pada isolator tersebut.. Kondisi penuaan yang dimaksud adalah dengan memberikan polutan buatan yang terdiri dari garam dan air destilasi serta tekanan lingkungan yang berupa sinar UV dan panas yang dihasilkan oleh lampu.



Gambar 4.1 Rangka Pengujian Akselerasi Umur Isolator

Adapun tahap pelaksanaan pengujian akselerasi umur isolator yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Siapkan modul pengujian akselerasi umur isolator terlebih dahulu dengan memasukkan kontaminan buatan berupa garam sesuai dengan komposisi garam yang telah dipaparkan pada tabel 4.1.
2. Pasang probe positif modul pembangkitan AC pada bagian probe kabel pengujian akselerasi umur isolator yang terdapat pada bagian luar rangka pengujian seperti yang ditunjukkan gambar 4.2.(gambar probe + dengan modul pengujian)



Gambar 4.2 Probe Positif Modul Pengujian Akselerasi Umur Isolator.

3. Pasang pula probe negatif modul pembangkitan AC pada bagian bawah rangka pengujian akselerasi umur isolator seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Probe negative modul pengujian akselerasi isolator

4. Nyalakan modul pengujian akselerasi umur isolator dan modul pembangkitan AC secara bersamaan. Aplikasikan tegangan sebesar 20kV pada pengujian akselerasi umur isolator selama 3 jam dan dilanjutkan dengan penyinaran dengan sinar UV dan *heater* selama 6 jam seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 dan gambar 4.5. (gambar ketika menyala)



Gambar 4.4 Isolator Ketika Pengujian Akselerasi Umur Isolator Berlangsung.



Gambar 4.5 Pengujian Akselerasi Umur Isolator Berlangsung

5. Catat kelembaban dan suhu pada awal dan akhir pengujian akselerasi umur isolator.

Pada setiap pengujian *salt-fog* diberikan kandungan garam yang berupa MgCl^2 (30,77%), CaCl^2 (31,54%), NaCl (37,4%) dan KCl (0,31%) sesuai dengan yang tertera pada Tabel 4.1. Tabel 4.2 merupakan jadwal pengujian akselerasi umur isolator pada setiap salinasi.

Tabel 4.1 Kandungan Garam Pada Tiap Salinasi

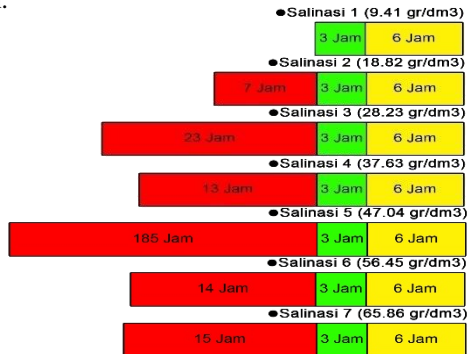
No.	Salinasi (Kg/m ³)	KCl (gr)	NaCl (gr)	CaCl ₂ (gr)	MgCl ₂ (gr)	ESDD (gr/cm ²)
1	-	-	-	-	-	-
2	9,409	0,029	3,519	2,967	2,895	0,05706
3	18,818	0,058	7,038	5,935	5,790	0,11411
4	28,227	0,087	10,557	8,903	8,685	0,17117
5	37,636	0,116	14,076	11,870	11,580	0,22823
6	47,045	0,146	17,595	14,838	14,476	0,28528
7	56,454	0,175	21,114	17,805	17,371	0,34234
8	65,863	0,204	24,633	20,773	20,266	0,39940

Tabel 4.2 Jadwal Pengujian Akselerasi Umur Isolator

No.	Salinasi (gr/dm ³)	Waktu Pengujian Akselerasi Penuaan Isolator		Waktu Penyinaran
		Awal	Akhir	
1	9,409	26/04/2017 16.00WIB	26/04/2017 19.00WIB	27/04/2017 01.00 WIB
2	18,818	27/04/2017 08.10 WIB	27/04/2017 11.10 WIB	27/04/2017 17.10 WIB
3	28,227	28/04/2017 16.00 WIB	28/04/2017 19.00 WIB	29/04/2017 01.00 WIB
4	37,636	29/04/2017 13.16 WIB	29/04/2017 16.16 WIB	29/04/2017 22.16 WIB
5	47,045	06/05/2017 17.00 WIB	06/05/2015 20.00 WIB	07/05/2017 02.00 WIB
6	56,454	07/05/2017 16.41 WIB	07/05/2017 19.41 WIB	08/05/2017 01.41 WIB
7	65,863	09/05/2017 17.04 WIB	09/05/2017 20.04 WIB	10/05/2017 02.04 WIB

Pada pengujian pre-kondisi ini juga diukur besar kelembaban dan suhu yang terukur saat awal pengujian dan akhir pengujian. Tabel 4.3 merupakan hasil data temperature dan kelembaban saat awal dan akhir pengujian akselerasi umur isolator.

Dibawah ini gambar 4.6 merupakan persebaran waktu yang dibutuhkan pada keseluruhan pengujian.



Gambar 4.6 Persebaran Data Grafik Waktu yang Digunakan.

Tabel 4.3 Data Temperature dan Kelembaban Setiap Tahap Pengujian Akselerasi Umur Isolator

Kondisi Salinasi (gr/liter)		Tegangan (kV)	Temperature (°C)		Kelembaban (%)	
			Awal	Akhir	Awal	Akhir
No Fog	0	20	30.2	32.5	64	67
Clean Fog	0	20	30.5	32.7	62	75
Salt Fog	9.409	20	29.4	32.6	63	88
	18.818	20	30.5	32	65	89
	28.227	20	30.7	32.1	64	89
	37.63	20	30.9	32.4	62	89
	47.045	20	29	33.4	66	89
Salt Fog	56.454	20	31.8	32.8	67	87
	65.863	20	29.5	32.6	70	88

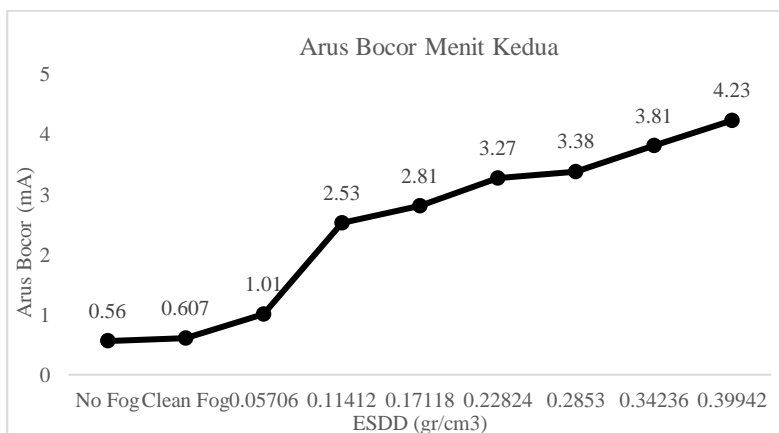
4.2 Pengujian Bahan Dielektrik

4.2.1 Analisa Pengaruh Kontaminan Terhadap Arus Bocor

Untuk menganalisis pengaruh ketebalan ESDD terhadap besar arus bocor diperlukan pengujian *withstand*. Pengujian *withstand* dilakukan untuk mengetahui besar arus bocor pada tegangan nominalnya. Tegangan yang diterapkan pada pengujian ini adalah 20kV. Pengujian ini dilakukan dalam kondisi suhu ruangan. Pengambilan sampel arus bocor dilakukan selama 5 menit pada setiap tahap salinasi. Data yang didapatkan diolah menggunakan *software* data akuisisi, sehingga didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.4 Besar Arus Bocor Menit Pertama

No.	ESDD (gr/cm ²)	Arus Bocor (mA)
1	No Fog (0)	0.56
2	Clean Fog(0)	0.607
3	0.05706	1.01
4	0.11412	2.53
5	0.17118	2.81
6	0.22824	3.27
7	0.2853	3.38
8	0.34236	3.81
9	0.39942	4.23

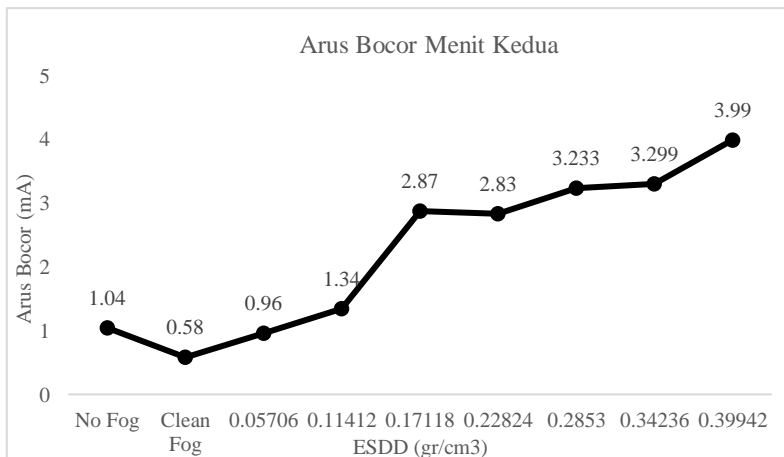


Gambar 4.7 Grafik ESDD vs Arus Bocor Menit Pertama

Pada gambar 4.7 didapatkan nilai arus bocor yang semakin naik ketika salinasi ditingkatkan. Pada salinasi pertama dengan ESDD 0.05706 gr/cm² didapatkan besar arus bocor yaitu 1.01 mA dan pada salinasi tahap kedua dengan ESDD 0.11412 gr/cm² didapatkan besar arus bocor sebesar 2.53 mA dapat dilihat bahwa nilai tahap pertama dan tahap kedua mengalami kenaikan yang cukup tajam. Hal ini dikarenakan garam yang menempel pada permukaan isolator semakin besar sehingga konduktivitas permukaan isolator semakin besar.

Tabel 4.5 Besar Arus Bocor Menit Kedua

No.	ESDD (gr/cm ²)	Arus Bocor (mA)
1	No Fog (0)	1.04
2	Clean Fog(0)	0.58
3	0.05706	0.96
4	0.11412	1.34
5	0.17118	2.87
6	0.22824	2.83
7	0.2853	3.233
8	0.34236	2.299
9	0.39942	3.99

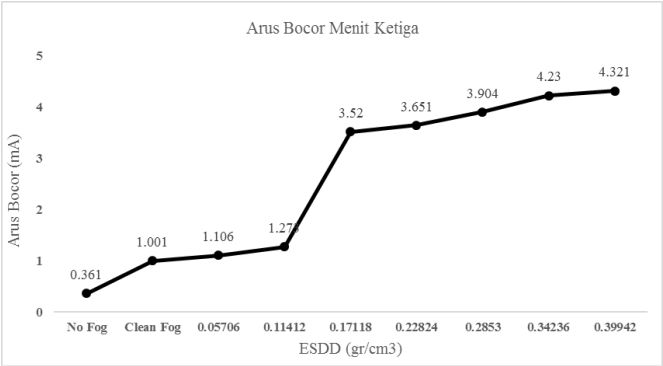


Gambar 4.8 Grafik ESDD vs Arus Bocor Menit Kedua

Pada gambar 4.8 didapatkan nilai arus bocor yang fluktuatif. Pada salinasi tahap kelima dan keenam terjadi penurunan, hal ini diakibatkan perbedaan kondisi lingkungan saat pengujian. Sedangkan pada tahap salinasi ke enam terjadi penurunan yang cukup drastis senilai 2.2999 mA, hal ini diakibatkan karena pengujian akselerasi umur isolator sempat terhenti selama seminggu dikarenakan terdapat fenomena *tracking* pada chamber sehingga pengujian harus dihentikan selama beberapa saat. Waktu istirahat ini dapat mempengaruhi kemampuan dielektrik isolator. Namun, pada salinasi terakhir nilai arus bocor sangat tinggi yaitu sebesar 3.99 mA.

Tabel 4.6 Besar Arus Bocor Menit Ketiga

No.	ESDD (gr/cm ²)	Arus Bocor (mA)
1	No Fog (0)	0.361
2	Clean Fog(0)	1.001
3	0.05706	1.106
4	0.11412	1.273
5	0.17118	3.52
6	0.22824	3.651
7	0.2853	3.904
8	0.34236	4.23
9	0.39942	4.321

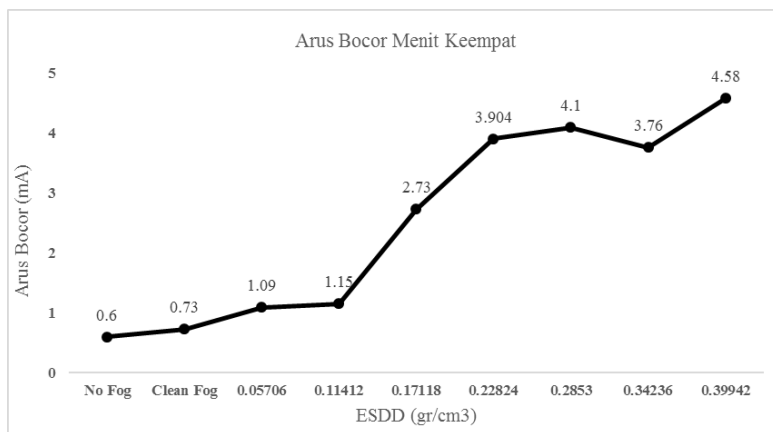


Gambar 4.9 Grafik ESDD vs Arus Bocor Menit Ketiga

Pada gambar 4.9 Saat salinasi pertama dengan ESDD 0.05706 gr/cm² arus bocor yang dihasilkan adalah 1.106 mA dan saat salinasi terakhir dengan ketebalan ESDD sebesar 0.39942 gr/cm² besar arus bocor yang terukur sebesar 4.321 mA. Kenaikan besar arus bocor ini meningkat secara linear terhadap peningkatan ketebalan ESDD pada permukaan isolator.

Tabel 4.7 Besar Arus Bocor Menit Keempat

No.	ESDD (gr/cm ²)	Arus Bocor (mA)
1	No Fog (0)	0.6
2	Clean Fog(0)	0.73
3	0.05706	1.09
4	0.11412	1.15
5	0.17118	2.73
6	0.22824	3.904
7	0.2853	4.1
8	0.34236	3.76
9	0.39942	4.58



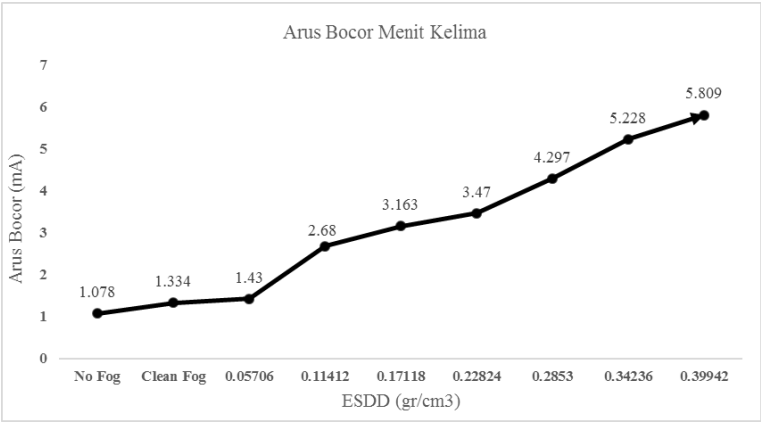
Gambar 4.10 Grafik ESDD vs Arus Bocor Menit Keempat

Gambar 4.10 menunjukkan saat salinasi pertama nilai arus bocor adalah 1.09 mA dan terus naik hingga salinasi kelima. Namun, pada salinasi

keenam terjadi penurunan arus bocor sesaat sebesar 3.76 mA yang diakibatkan karena adanya pengaruh lingkungan saat pengujian arus bocor berlangsung. Ketika salinasi terakhir dengan ESDD sebesar 0.39942 gr/cm² besar arus bocor yang terukur adalah sebesar 4.58 mA.

Tabel 4.8 Besar Arus Bocor Menit Kelima

No.	ESDD (gr/cm ²)	Arus Bocor (mA)
1	No Fog (0)	1.078
2	Clean Fog(0)	1.334
3	0.05706	1.43
4	0.11412	2.68
5	0.17118	3.163
6	0.22824	3.47
7	0.2853	4.297
8	0.34236	5.228
9	0.39942	5.809

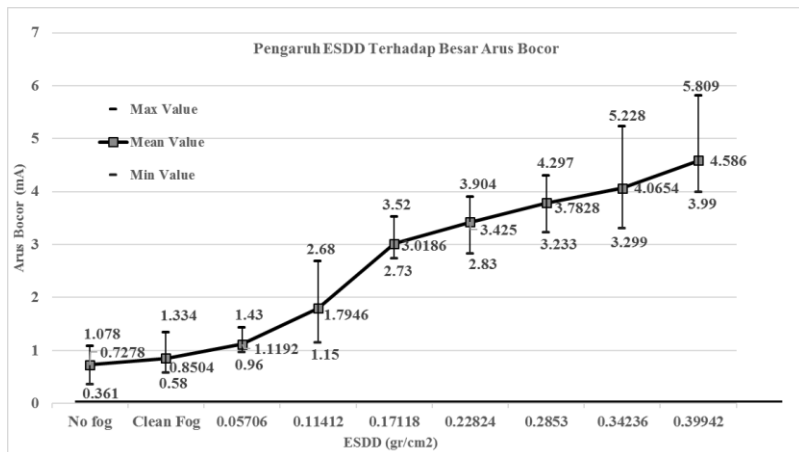


Gambar 4.11 Grafik ESDD vs Arus Bocor Menit Kelima

Gambar 4.11 menunjukkan saat salinasi pertama dengan besar ESDD 0.05706 gr/cm² nilai arus bocor adalah 1.43 mA dan meningkat terus hingga ketebalan ESDD mencapai 0.39942 gr/cm² dengan nilai arus bocor 5.809 mA.

Tabel 4.9 Nilai Arus Bocor Rata-Rata

No.	ESDD (gr/cm ²)	Arus Bocor (mA)
1	No Fog (0)	0.7278
2	Clean Fog(0)	0.8504
3	0.05706	1.192
4	0.11412	1.7946
5	0.17118	3.0186
6	0.22824	3.425
7	0.2853	3.7828
8	0.34236	4.0654
9	0.39942	4.586

**Gambar 4.12** Grafik ESDD vs Arus Bocor Rata-Rata

Pada Gambar 4.12 dijelaskan bahwa ketika salinasi pertama dengan ESDD 0.05706 gr/cm² nilai arus bocor yang didapatkan adalah 1.1192 mA nilai arus bocor meningkat seiring meningkatnya ketebalan ESDD pada permukaan isolator. Hal ini dikarenakan garam dan air destilasi membentuk sebuah lapisan konduktif pada permukaan isolator sehingga mampu dialiri oleh arus bocor. Semakin tinggi tingkat salinasi yang diberikan pada permukaan isolator, maka lapisan konduktif yang terbentuk pada permukaan

isolator semakin besar. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.12 saat salinasi pada tahap akhir dengan ESDD 0.39942 gr/cm² arus bocor yang dihasilkan sebesar 4.586 mA.

4.2.2 Pengujian *Pre-Breakdown Voltage*

Pada studi ini dilakukan pengujian *pre-breakdown voltage* untuk menganalisis pengaruh ketebalan ESDD terhadap besar tegangan *pre-breakdown*. Pengujian ini menggunakan modul yang sesuai dengan gambar 3.14. Tegangan yang diterapkan pada isolator dinaikkan hingga muncul korona pada permukaan isolator. Korona yang dimaksud dapat berupa desis maupun pendar ungu. Hasil pengukuran tegangan *pre-breakdown* dan arus bocor pada suhu dan kelembaban ruangan disajikan pada Tabel 4.10.

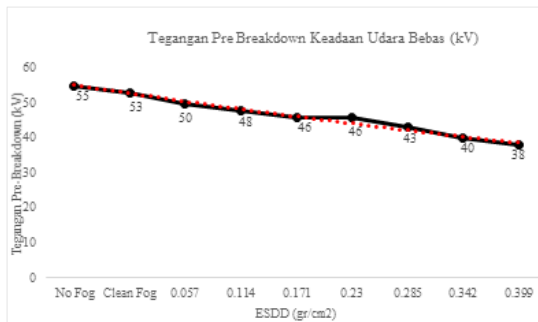
Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Tegangan *Pre-Breakdown* dan Arus Bocor Pada Suhu dan Kelembaban Ruangan

ESDD	Tegangan Tembus (kV)	Arus Bocor(mA)
No Fog	55	0.773
Clean Fog	53	1.716
0.05706	50	1.864
0.11412	48	2.188
0.17118	46	3.001
0.22824	46	3.348
0.2853	43	3.596
0.34236	40	4.368
0.39942	38	5.259

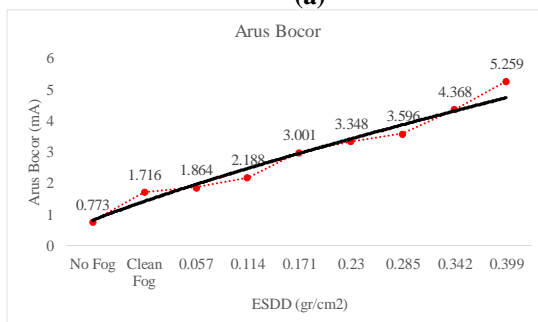
Pada tabel 4.10 merupakan hasil pengukuran tegangan *pre-breakdown* dan arus bocor pada suhu dan kelembaban udara bebas. Untuk mengetahui tegangan *pre-breakdown* sesuai dengan standart pengujian berdasarkan ASTM D-149. Pengujian waktu singkat selama 10-20s, tegangan yang diterapkan dinaikkan secara perlahan hingga muncul corona pada permukaan isolator.

Gambar 4.13 merupakan pengukuran tegangan *pre-breakdown* pada suhu dan kelembaban ruangan keadaan udara bebas. Pada gambar tersebut dapat dilihat ketika isolator berada pada salinasi dengan ESDD 0.05706 gr/cm² nilai tegangan *pre-breakdown* dan arus bocor adalah 50kV dan 1.864 mA. Nilai tegangan *pre-breakdown* terus menurun, namun nilai arus bocor

meningkat hingga tahap salinasi terakhir 0.39942 gr/cm^2 nilai tegangan *pre-breakdown* dan arus bocor adalah 38 kV dan 5.259 mA. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tingkat salinasi maka tegangan *pre-breakdown* yang terukur akan semakin kecil. Penurunan ini diakibatkan karena meningkatnya lapisan konduktif yang menempel pada permukaan isolator sehingga jarak rambat pada permukaan isolator akan semakin pendek serta gangguan medan yang diakibatkan oleh lapisan kontaminan pada permukaan isolator mengakibatkan kuat dielektrik dari isolator akan menurun. Penurunan kemampuan dielektrik dapat mengakibatkan gangguan pada sistem tenaga listrik yaitu *flashover*, rugi-rugi daya yang diakibatkan arus bocor, serta gangguan-gangguan lain yang berakibat fatal pada stabilitas dan kontinuitas sistem.



(a)



(b)

Gambar 4.13 Pengaruh ESDD Terhadap Besar Tegangan *Pre-Breakdown* Keadaan Udara Bebas(a), Keadaan arus bocor saat tegangan *pre-breakdown* (b)

Untuk mengetahui besar tegangan *pre-breakdown* sesuai dengan standart ASTM D-149, maka diperlukan kelembaban dan suhu saat pengujian berlangsung sesuai pada tabel 4.11. Kelembaban dan suhu ruangan digunakan untuk mencari besar faktor koreksi, faktor koreksi dapat dicari dengan memasukkan parameter kelembaban dan suhu pada persamaan 3.12. Tabel 4.12 adalah besar tegangan *pre-breakdown* dalam keadaan udara sesuai dengan standart pengujian ASTM D-149

Tabel 4.11 Nilai Faktor Koreksi Udara Pada Setiap Tahap Salinasi

No.	Salinasi (Kg/m ³)	Temperatur Pengujian (°C)	Tekanan Udara Pengujian (mBar)	FAKTOR KOREKSI
1	-	30,0	1010,5	0,964610232
2	9,409	28,6	1009,9	0,968512455
3	18,818	29,9	1008,7	0,963209866
4	28,227	28,9	1010,0	0,968608357
5	37,636	29,1	1009,5	0,966526516
6	47,045	28,4	1010,0	0,969251096
7	56,454	28,2	1009,4	0,969318514
8	65,863	26,6	1010,9	0,975943245

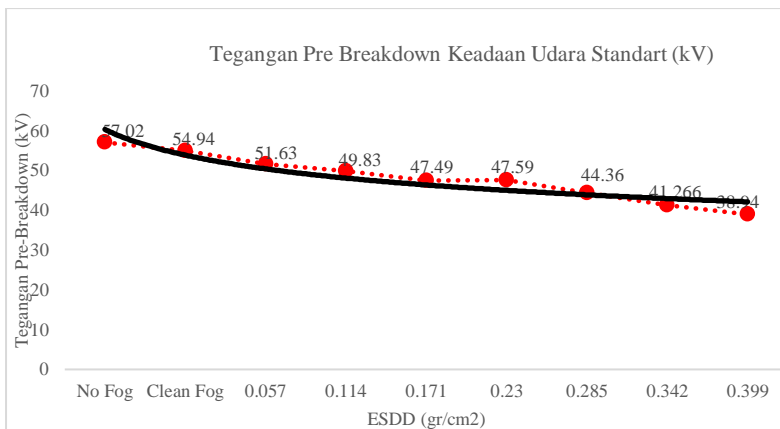
Tabel 4.12 merupakan hasil nilai tegangan *pre-breakdown* pada setiap tahap salinasi yaitu:

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Tegangan *Pre-Breakdown* Keadaan Standart.

No	ESDD	Faktor Koreksi	Tegangan Pre Breakdown Keadaan Udara bebas(kV)	Tegangan Pre Breakdown Keadaan Udara Standart (kV)
1	No Fog	0.97	55	57.02
2	Clean Fog	0.97	53	54.94
3	0.057	0.97	50	51.63

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Tegangan *Pre-Breakdown* Keadaan Standart.(Lanjutan)

No	ESDD	Faktor Koreksi	Tegangan Pre Breakdown Keadaan Udara bebas(kV)	Tegangan Pre Breakdown Keadaan Udara Standart (kV)
4	0.114	0.96	48	49.83
5	0.171	0.97	46	47.49
6	0.23	0.97	46	47.59
7	0.285	0.97	43	44.36
8	0.342	0.97	40	41.266
9	0.399	0.98	38	38.94



Gambar 4.14 Grafik Tegangan *Pre-Breakdown* Keadaan Udara Standar.

Pada Gambar 4.14 nilai tegangan *pre-breakdown* pada keadaan udara standart lebih tinggi daripada nilai tegangan *pre-breakdown* yang terukur pada keadaan udara bebas. Nilai tegangan *pre-breakdown* pada pada keadaan udara di tahap salinasi pertama adalah 51.63556 kV sedangkan pada tahap salinasi terakhir nilai tegangan *pre-breakdown* adalah 38.93 kV. Maka, pada penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa kondisi udara sekitar ketika pengujian tegangan *pre-breakdown* berlangsung

mempengaruhi nilai tegangan *pre-breakdown* yang terukur di isolator. Perubahan ini diakibatkan oleh adanya faktor koreksi.

Pada pengujian ini juga didapatkan hasil semakin tinggi tingkat salinasi yang diberikan maka korona yang timbul pada permukaan isolator akan semakin besar. Hal ini dikarenakan lapisan kontaminan mengganggu distribusi medan listrik pada isolator sehingga, pada titik-titik tertentu medan listrik yang dihasilkan akibat kebocoran arus yang meningkat akan semakin besar. Gambar 4.15 merupakan korona yang timbul pada permukaan isolator polimer yang telah di pre-kondisi. Peningkatan nilai arus bocor pada permukaan isolator mengakibatkan aktivitas korona dan *dry band arcing* semakin meningkat, sehingga dapat menurunkan umur pemakaian isolator. Pada studi ini korona timbul pada ESDD 0.2853 gr/cm^2 dan 0.39942 gr/cm^2 . Semakin banyak besar salinasi yang diberikan maka korona yang timbul pada permukaan isolator akan semakin banyak.



(a)

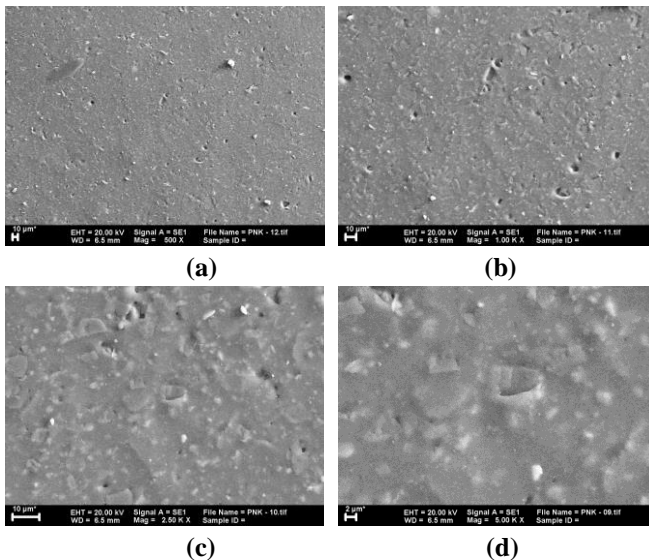
(b)

Gambar 4.15 Corona pada saat ESDD 0.3994 gr/cm^2 (a), Corona yang timbul saat ESDD 0.2853 gr/cm^2 (b)

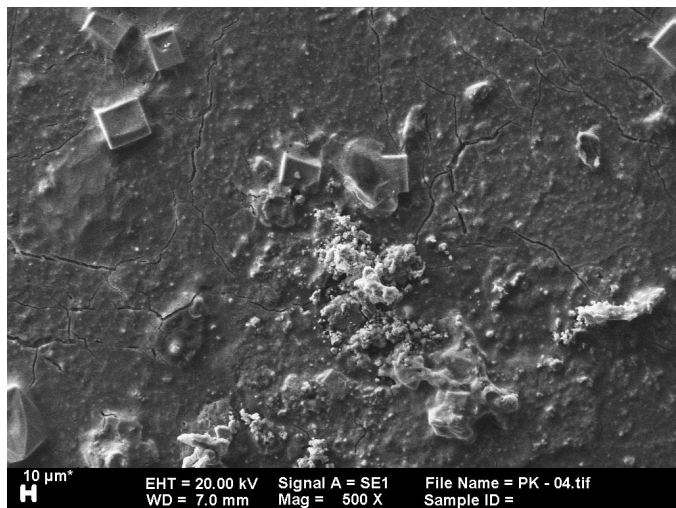
4.3 Pengujian SEM

Pada studi ini pengujian SEM-DEX digunakan untuk mengetahui partikel polutan yang menempel pada permukaan isolator. Pengujian SEM dilakukan sebanyak empat kali dengan menggunakan dua sampel permukaan isolator yaitu permukaan isolator dengan tingkat ESDD $0,39942$

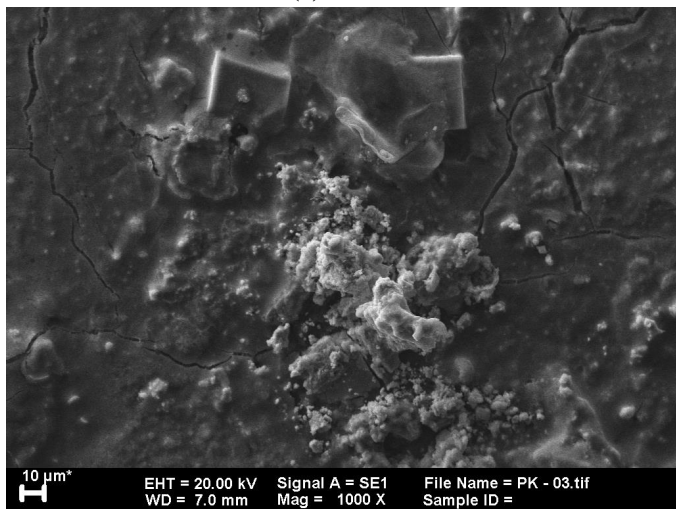
gr/cm² dan permukaan isolator yang masih baru (tanpa dilakukan pre-kondisi). Adapun pengujian ini digunakan untuk mengetahui besar unsur-unsur garam yang menempel pada permukaan isolator. Gambar 4.16 merupakan hasil SEM-DEX pada permukaan isolator yang tidak mengalami pre-kondisi dengan perbesaran 500x, 1000x, 2500x, dan 5000x. Permukaan isolator polimer tanpa kontaminan gambar 4.16 memiliki permukaan yang lebih halus dan rata serta tidak ada polutan yang menempel pada permukaan isolator tersebut. Sedangkan hasil SEM pada permukaan isolator dengan tingkat ESDD 0,39942 gr/cm² dengan perbesaran yang sama terdapat pada gambar 4.17 Pada kedua hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada gambar 4.17 polutan buatan lebih banyak menempel dan muncul patahan-patahan yang diakibatkan oleh lapisan polutan tersebut. Patahan-patahan tersebut dapat mengakibatkan distribusi medan listrik pada isolator tidak merata. Sehingga peluang timbulnya kegagalan akan semakin meningkat.



Gambar 4.16 Polimer tanpa kontaminan perbesaran 500x (a), 1000x(b), 2500x(c), 5000x(d)

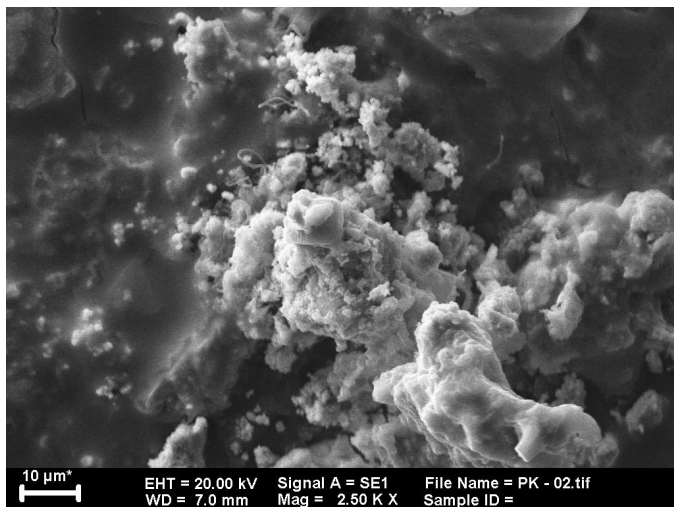


(a)

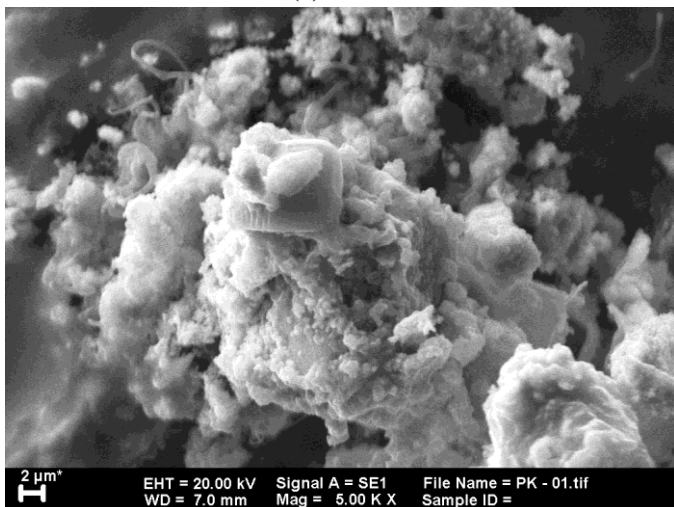


(b)

Gambar 4.17 Polimer dengan kontaminan perbesaran 500x (a), Polimer dengan kontaminan perbesaran 1000x (b)



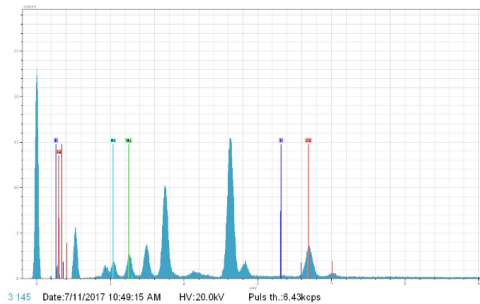
(a)



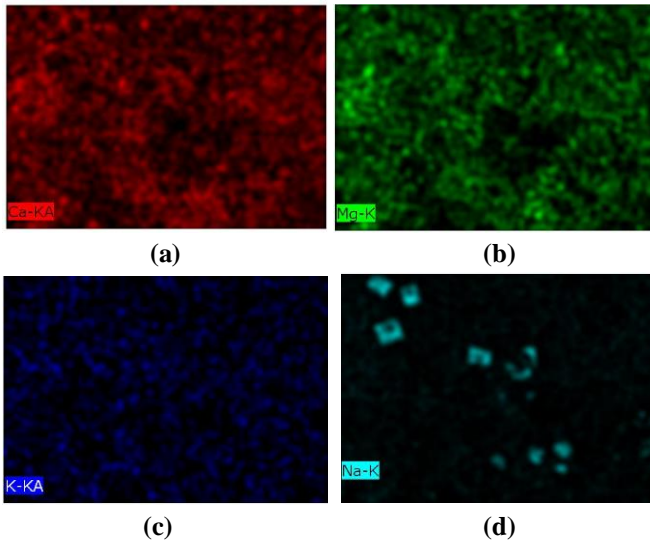
(b)

Gambar 4.18 Polimer dengan kontaminan perbesaran 2500x (a), Polimer dengan kontaminan perbesaran 5000x (b)

Pada gambar 4.17 terdapat unsur Na, K, Ca, dan Mg. Kandungan ini sesuai dengan mcam-macam garam yang diberikan pada permukaan isolator. Gambar 4.18 menjelaskan mengenai spektrum persebaran unsur tersebut pada permukaan isolator. Gambar 4.19 merupakan persebaran unsur aram dibedakan melalui warna garam.



Gambar 4.19 Kadar garam pada permukaan isolator



Gambar 4.20 Unsur Ca(a), Unsur Mg(b), Unsur K(c), Unsur Na(d)

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari studi ini adalah:

1. Pada setiap tahap pengujian, tingkat salinasi yang diberikan berpengaruh pada nilai arus bocor yang terukur. Semakin tinggi salinasi yang diberikan, nilai arus bocor yang terukur akan semakin tinggi pula. Hal ini diakibatkan karena lapisan polutan yang terdiri dari garam dan air destilasi tersebut meningkatkan kelembaban dan konduktivitas pada permukaan isolator. Kelembaban dan konduktivitas inilah yang menyebabkan arus bocor mampu melewati permukaan isolator. Pada kondisi salinasi dengan ESDD 0.3994 gr/cm^2 yang termasuk polutan berat nilai arus bocor yang terukur adalah 4.58 mA.
2. Tingkat salinasi yang diberikan juga mempengaruhi nilai tegangan *pre-breakdown*. Semakin tinggi tingkat salinasi yang diberikan ketika pengujian maka nilai tegangan *pre-breakdown* akan semakin turun. Hal ini dikarenakan kuat dielektrik dari isolator menurun dan jarak rambat isolator semakin pendek. Tegangan *pre-breakdown* yang turun juga mempengaruhi nilai arus bocor yang terukur pada permukaan isolator. Semakin rendah tegangan *pre-breakdown* maka akan semakin meningkat nilai arus bocor.
3. Aktivitas corona pada permukaan isolator akan semakin meningkat dengan adanya lapisan polutan pada permukaan isolator. Aktivitas corona ini dipengaruhi oleh besar arus bocor yang melewati permukaan isolator. Semakin besar nilai arus bocor yang melalui permukaan isolator maka medan listrik yang muncul pada permukaan isolator akan semakin besar.

5.2 Saran

Pengujian akselerasi umur isolator yang dilakukan pada studi ini belum sesuai dengan standart IEC 61109. Sehingga analisis mengenai pengaruh lapisan polutan pada permukaan isolator belum maksimal. Untuk studi selanjutnya dapat menggunakan standart pengujian yang sesuai dengan IEC

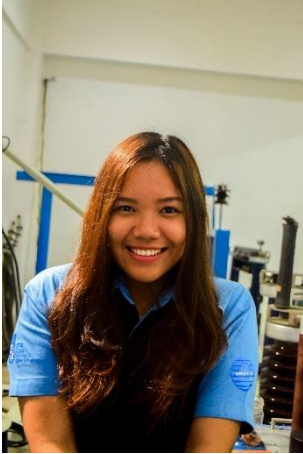
61109 agar analisis pengaruh kontaminan terhadap nilai arus bocor yang timbul akibat polutan tersebut dapat lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. L. Tobing, *Peralatan Tegangan Tinggi*. Jakarta: Erlangga, 2012.
- [2] C. Han Goo, et al, "Multi-Aging Test Technology for Estimating Long Time Performance of Polymer Insulators", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston, MA USA, April 7-10, 2002
- [3] A. Yusrizal, "Analisis Distribusi Medan Listrik Pada Isolator Gantung Menggunakan CST Studio Suite", ITS, Surabaya, 2014.
- [4] Mustamin, M. Salama, "Karakteristik Isolator Polimer Tegangan Tinggi di Bawah Penuaan Tekanan Iklim Tropis Buatan yang Dipercepat", UNHAS.
- [5] M. Luiz H, et al, " Salt Fog Testing of Glass Insulators with Different Surface Conditions", 3rd International Conference on Electric Power and Energy Conversion System, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey, October 2-4, 2013
- [6] K. Abdelrahman, et al, " Equivalent Salt Deposit Density Prediction of Outdoor Polymer Insulators during Salt Fog Test", IEEE, American University of Sarjah.
- [7] C. Ramiro H, et al, " Polymeric Insulators Characterization Aged in Salt Fog Chamber by Different Techniques", IIE.
- [8] Ayman H, El-Hag, " Promoting Condition Monitoring and Diagnostics of Electrical Insulation in Undergraduate Capstone Graduation Projects", IEEE.
- [9] O. Masahisa, et al, " Discharge and Emission Spectra on the Surface of Polymer Insulator Materials in Salt Fog Aging Test", Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2001.
- [10] S. Muhammad, "Pengujian Isolator Pin-Post 20 kV Terkontaminasi Garam Mengakibatkan Arus Bocor Flashover Pada Permukaan", SNASI Periode II, ISSN : 1979-911X.
- [11] S. Melfa, S. Abdul, " Pengujian Tegangan Impuls Pada Isolator Tonggak Pin (Pin Post) Untuk Saluran Udara Tegangan Menengah", Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

RIWAYAT HIDUP



Anisa Kusumaningrum dilahirkan di Tanjung Pandan, 18 April 1996. Penulis memulai jenjang pendidikan Sekolah Dasar SDN Wonokromo III dari tahun 2004-2006, sebelumnya penulis pernah menempuh Pendidikan sekolah dasar di Medan. Setelah itu penulis melanjutkan studi pendidikannya di SMPN 32 Surabaya pada tahun 2006-2010. Pada Tahun 2010 penulis melanjutkan studi SMA di SMAN 18 Surabaya. Seusai lulus SMA penulis melanjutkan jenjang S1 di Teknik Elektro ITS Surabaya dengan mengambil bidang di Teknik Sistem Tenaga. Selama perkuliahan penulis juga diamanahi sebagai Asisten Laboratorium Tegangan Tinggi ITS.